



Universidad
Carlos III de Madrid

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Departamento de Tecnología Electrónica

PROYECTO FIN DE CARRERA

CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO PARA EL CONTROL Y ESTABILIZACIÓN DE LA POTENCIA DE EMISIÓN DE UN DIODO LÁSER

Autor: Ignacio Ruiz Herrero
Tutor: Julio Posada Román
Director: Pablo Pedreira Conchado

Leganés, 23 de Octubre de 2013



Título: CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO PARA EL CONTROL Y
ESTABILIZACIÓN DE LA POTENCIA DE EMISIÓN DE UN DIODO LÁSER

Autor: Ignacio Ruiz Herrero

Tutor: Julio Posada Román

Director: Pablo Pedreira Conchado

TRIBUNAL

Realizado el acto de lectura y defensa del Proyecto Fin de Carrera el día **23** de **Octubre** de **2013** en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, el TRIBUNAL acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de **Matrícula de Honor**.

	NOMBRE
PRESIDENTE	José Antonio García Souto
VOCAL	Mónica Victoria Rojas Moreno
SECRETARIO	Guillermo Andrés Guarnizo Herreño



Agradecimientos

A todas las personas que han compartido conmigo esta larga etapa, tanto en sus momentos buenos como en los malos. En especial mencionar:

- A mis familiares, tanto por las reprimendas como por el apoyo y felicitaciones recibidas.
- A mí '*otra familia*', por esos ratos de ocio y desahogo que animan a cualquiera.
- A mis compañeros de faena, por toda la ayuda prestada. '*Espartanos: Au, au, au...!*'.
- A Pablo y Julio, por ofrecerme la oportunidad de aprender y trabajar su lado.

Os debo una...



Resumen

En el presente documento, se estudian los diodos láser dentro de su aplicación como fuente de iluminación en sistemas de instrumentación optoelectrónicos con sensores de fibra óptica. Aquí, es imprescindible que la fuente de emisión de luz sea estable para la obtención de unas medidas adecuadas.

Entre los principales factores que afectan a las características de emisión de un diodo láser, están la temperatura y las variaciones de corriente. Además, estos dispositivos son extremadamente sensibles a transitorios de corriente y de tensión, así como también a descargas electrostáticas (*ESD*). Es por ello, que normalmente se emplean circuitos de acondicionamiento para lograr estabilizar la emisión de la fuente, y de esta manera obtener un mejor desempeño a la hora de trabajar en un sistema de instrumentación.

En el mercado, existen diversos tipos controladores específicamente diseñados para este fin. Estos, además de estabilizar la potencia de emisión, incluyen determinados sistemas de protección para garantizar la correcta operación del diodo láser. De esta manera, proporcionan una solución económica y compacta, a través de un circuito integrado de aplicación específica (*ASIC*).

Como parte del trabajo realizado en este proyecto de fin de carrera, se presenta un estudio comparativo entre varios controladores integrados disponibles en el mercado. Basados en el resultado de este estudio, se escoge un controlador con el fin de diseñar un circuito de acondicionamiento para estabilizar la potencia óptica emitida por un diodo láser. Asimismo, se implementa este sistema de control en una tarjeta de circuito impreso (*PCB*).

Este sistema es caracterizado, y su funcionamiento es puesto a prueba con dos tipos de dispositivos láser: uno de ellos es un láser de tipo semiconductor (*diodo láser*), y el otro un láser de estado sólido (*DPSS*). Los resultados de la caracterización, son comparados con las especificaciones proporcionadas por el fabricante del circuito integrado utilizado en el diseño, con el fin de contrastar y comprobar que el rendimiento del sistema implementado mantiene sus prestaciones.

Finalmente, el circuito de control diseñado es probado en una aplicación práctica interferométrica, verificando así la utilidad del sistema y su funcionalidad en una aplicación real.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1. Introducción y objetivos.....	15
1.1. <i>Introducción y necesidades del proyecto.</i>	15
1.2. <i>Objetivos.</i>	16
1.3. <i>Medios empleados.</i>	16
1.4. <i>Estructura de la memoria.</i>	17
Capítulo 2. Marco teórico.....	19
2.1. <i>Sensores de fibra óptica. Introducción al diodo láser.</i>	19
2.2. <i>Interferometría. Configuraciones y aplicaciones.</i>	24
2.3. <i>Interferencia de ondas electromagnéticas. Propiedades.</i>	30
2.4. <i>Conclusiones.</i>	34
Capítulo 3. Diseño de una fuente estabilizadora para diodos láser..	36
3.1. <i>Introducción.</i>	36
3.2. <i>Solución propuesta. Circuito de acondicionamiento para el emisor.</i>	36
3.2.1. Justificación y requisitos del diseño.....	36
3.2.2. Caso genérico: Diodo láser con fotodiodo monitor integrado.	41
3.2.3. Caso especial: Diodo láser sin fotodiodo monitor integrado.	42
3.3. <i>Diseño eléctrico del circuito.</i>	45
3.4. <i>Implementación del diseño en circuito impreso.</i>	48
3.5. <i>Conclusiones.</i>	53
Capítulo 4. Caracterización del diseño y resultados.	54
4.1. <i>Introducción.</i>	54
4.2. <i>Protecciones.</i>	54
4.3. <i>Respuesta en AC.</i>	61
4.4. <i>Estabilidad.</i>	65
4.5. <i>Aplicación práctica.</i>	72
4.6. <i>Conclusiones.</i>	84
Capítulo 5. Conclusiones finales y trabajos futuros.	85
Capítulo 6. Presupuesto.....	87

Capítulo 7. Glosario.....	91
Capítulo 8. Referencias.....	92
Anexo A. 2,4V CW Laser Diode Driver Datasheet.....	A-0
Anexo B. 15V CW Laser Diode Driver Datasheet.....	B-0
Anexo C. HL6501MG Laser Diode Datasheet	C-0
Anexo D. Caracterización del láser DPSS de 10mW	D-0
Anexo E. SFH250V Photodiode Datasheet.....	E-0

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.3-1: Esquema de montaje del sistema de adquisición.	17
Figura 2.1-1: Esquema general de un sistema de instrumentación con sensor de fibra óptica.	19
Figura 2.1-2: Configuraciones de diodos láser con tres terminales de conexión.	21
Figura 2.1-3: Potencia óptica de salida en función de la corriente suministrada ^[Anexo C] .	22
Figura 2.1-4: Corriente umbral en función de la temperatura ^[Anexo C] .	23
Figura 2.1-5: Sensitividad espectral relativa ^[Anexo E] .	24
Figura 2.2-1: Portadora de alta frecuencia [arriba] y señal modulada en amplitud [abajo].	24
Figura 2.2-2: Esquema de un sensor de fibra óptica con modulación de fase.	25
Figura 2.2-3: Interferómetro Michelson.	26
Figura 2.2-4: Interferómetro Mach-Zehnder.	27
Figura 2.2-5: Relación entre el movimiento de las franjas y la longitud de onda.	28
Figura 2.2-6: Encapsulado TO típico de un diodo láser ^[22] .	30
Figura 2.3-1: Espectro electromagnético ^[25] .	31
Figura 2.3-2: Onda electromagnética.	31
Figura 2.3-3: Interferencia de ondas: Constructiva [Izda.] y Destructiva [Dcha.] ^[27] .	33
Figura 2.3-4: Onda linealmente polarizada ^[30] .	34
Figura 3.2.1-1: Esquemático con componentes discretos ^[33] .	38
Figura 3.2.1-2: Diagrama de bloques (iC-WKN) ^[Anexo B] .	40
Figura 3.2.2-1: Conexiones del integrado particularizadas para distintas configuraciones ^[33] .	41
Figura 3.2.3-1: Posible circuito para cerrar externamente la realimentación del sistema.	43
Figura 3.2.3-2: Circuito de adaptación a fuente de corriente constante.	44
Figura 3.3-1: Esquemático integrado básico particularizado para un láser tipo 'N'.	45
Figura 3.3-2: Diagrama de bloques iC-WK/WKL con booster incorporado ^[35] .	46
Figura 3.3-3: Esquemático integrado con booster incorporado.	47
Figura 3.4-1: Circuito impreso básico y leyenda.	49
Figura 3.4-2: Encapsulado So8 [Izda.] y footprint asociado en pulgadas [Dcha.].	49
Figura 3.4-3: Imagen de las dos caras de la PCB básica. Top [Izda.] y Bottom [Dcha.].	50
Figura 3.4-4: Circuito impreso con booster acoplado y leyenda.	51
Figura 3.4-5: Imagen de las dos caras de la PCB con booster. Top [Izda.] y Bottom [Dcha.].	52
Figura 4.2-1: Esquema del circuito implementado para adquisición de la corriente I_{LDA} .	55
Figura 4.2-2: Conexión externa del amplificador AD620.	56
Figura 4.2-3: Arranque característico de la fuente Protek 3033B.	57
Figura 4.2-4: Caída de tensión en la línea de alimentación del integrado iC.	58
Figura 4.2-5: Modificación introducida para la correcta adquisición de la corriente I_{LDA} .	58
Figura 4.2-6: Arranque del circuito de control.	59
Figura 4.2-7: Apagado del circuito de control.	60
Figura 4.2-8: Detalle del montaje realizado para la adquisición de la corriente I_{LDA} .	60
Figura 4.3-1: Entrada de modulación para un Laser tipo 'P' [Izda.] y uno tipo 'N' [Dcha.] ^[38] .	61
Figura 4.3-2: Montaje implementado para realizar las medidas con señal modulada.	61
Figura 4.3-3: Circuito de acondicionamiento de salida.	62
Figura 4.3-4: Etapa de modulación analógica.	63
Figura 4.3-5: Ancho de banda del integrado iC.	64
Figura 4.4-1: Detalle del acoplamiento de la fibra óptica.	65
Figura 4.4-2: Esquema del montaje completo para obtener las medidas de estabilidad.	66

Figura 4.4-3: <i>Etapa de realimentación.</i>	66
Figura 4.4-4: <i>Etapa de acondicionamiento de salida.</i>	67
Figura 4.4-5: <i>Oscilación a 187kHz de la tensión de salida V_{OUT}.</i>	68
Figura 4.4-6: <i>Estabilidad de emisión del ‘caso especial’ con iC-WK/WKL + booster.</i>	69
Figura 4.4-7: <i>Estabilidad de emisión del ‘caso especial’ con fuente de corriente constante.</i>	70
Figura 4.5-1: <i>Esquema del montaje completo con láser He-Ne.</i>	72
Figura 4.5-2: <i>Láser He-Ne y estación de posicionamiento.</i>	72
Figura 4.5-3: <i>Esquema del sistema interferométrico.</i>	73
Figura 4.5-4: <i>Patrón interferométrico inicial [Izda.] y orden cero del sistema [Dcha.].</i>	74
Figura 4.5-5: <i>Etapa de acondicionamiento de salida.</i>	75
Figura 4.5-6: <i>Estímulo aplicado al PZT.</i>	75
Figura 4.5-7: <i>Correspondencia entre la señal V_{OUT} y el movimiento de las franjas.</i>	76
Figura 4.5-8: <i>Respuesta del sistema ante un estímulo de 2,15kHz.</i>	77
Figura 4.5-9: <i>Detalle del montaje realizado en la aplicación práctica (1ª parte).</i>	78
Figura 4.5-10: <i>Modificaciones introducidas en el sistema interferométrico.</i>	80
Figura 4.5-11: <i>Esquema del montaje completo con diodo láser DPSS.</i>	80
Figura 4.5-12: <i>Respuesta del sistema al iluminarlo con el diodo DPSS.</i>	81
Figura 4.5-13: <i>Estabilidad de la amplitud de la señal de respuesta interferométrica.</i>	82
Figura 4.5-14: <i>Detalle del adaptador externo a fuente de corriente empleado.</i>	83
Figura D-1: <i>Circuito utilizado para la caracterización del láser DPSS.</i>	D-2
Figura D-2: <i>Curva característica del láser DPSS [Potencia óptica vs. Corriente directa].</i>	D-3

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.3-1: <i>Medios empleados.</i>	16
Tabla 2.1-1: <i>Relación entre los terminales de conexión y la configuración interna de un 'LD'.</i>	21
Tabla 2.2-1: <i>Láseres utilizados en interferometría^{[20][21]}.</i>	29
Tabla 2.2-2: <i>Tipo de semiconductor y longitudes de onda asociadas^[11].</i>	30
Tabla 3.2.1-1: <i>Diodos láser disponibles para el desarrollo del proyecto.</i>	37
Tabla 3.2.1-2: <i>Comparativa entre los ASICs seleccionados.</i>	39
Tabla 3.3-1: <i>Relación de corrientes I_{ON} para distintos valores de 'R2'.</i>	48
Tabla 3.3-2: <i>Relación de corrientes I_{MAX} para distintos valores de 'RGND'.</i>	48
Tabla 3.4-1: <i>Relación de componentes montados en la PCB básica.</i>	50
Tabla 3.4-2: <i>Relación de componentes montados en la PCB con booster acoplado.</i>	53
Tabla 4.2-1: <i>Componentes e instrumentos utilizados durante la verificación del arranque.</i>	55
Tabla 4.3-1: <i>Componentes e instrumentos utilizados durante la prueba de modulación.</i>	62
Tabla 4.4-1: <i>Componentes e instrumentos utilizados durante la prueba de estabilidad.</i>	67
Tabla 4.5-1: <i>Componentes e instrumentos utilizados durante la aplicación práctica (1ª parte).</i>	74
Tabla 4.5-2: <i>Respuesta del sistema ante estímulos de diferente frecuencia.</i>	76
Tabla 4.5-3: <i>Componentes e instrumentos utilizados durante la aplicación práctica (2ª parte).</i>	79
Tabla 4.6-1: <i>Costes directo de personal.</i>	87
Tabla 4.6-2: <i>Costes directos de material relativo al montaje de la PCB básica.</i>	87
Tabla 4.6-3: <i>Costes directos de material relativo al montaje de la PCB con booster.</i>	87
Tabla 4.6-4: <i>Costes directos asociados a material entregable.</i>	88
Tabla 4.6-5: <i>Costes directos de subcontratación.</i>	88
Tabla 4.6-6: <i>Costes directos de amortización.</i>	89



Capítulo 1. Introducción y objetivos.

1.1. *Introducción y necesidades del proyecto.*

Uno de los componentes más importantes dentro de un *sistema de instrumentación optoelectrónico con sensores de fibra óptica*, es la fuente de luz utilizada para iluminar el sistema. Aquí, la información de la medida recogida por el sensor, se encuentra codificada en la onda de luz emitida por la fuente, o dicho de otra forma, esta onda se comporta como señal portadora^{[1][2]}.

Dependiendo del tipo de sensor, la medida puede estar codificada en la intensidad (I), en la fase (ϕ), o en la longitud de onda (λ) de esta portadora. Debido a esto, la funcionalidad de un sistema de instrumentación depende directamente de las características de la fuente de luz, y por tanto, es susceptible a las variaciones que en ella se puedan producir. Por esta razón, es preciso utilizar una *fuentes de luz estable*, cuyas propiedades no se vean afectadas por factores externos como pueden ser la temperatura u otras condiciones del entorno.

Algunas de las fuentes comúnmente empleadas en estos sistemas de instrumentación con fibra óptica son los *diodos láser (LD)*, los diodos emisores de luz (*LED*) y los diodos superluminiscentes (*SLED*)^{[1][2]}. Dentro de las propiedades que hacen que estos dispositivos sean utilizados en este campo destacan las siguientes^[3]:

- Dispositivos compactos
- Alta eficiencia cuántica ($\sim 50\text{-}60\%$)
- Posibilidad de incorporar modulación en corriente

Sin embargo, en el caso particular de los '*LD*', se presentan una serie de desventajas que merecen especial atención. Estos dispositivos, son extremadamente sensibles a las descargas electrostáticas (*ESD*), a los transitorios o picos de corriente, y a los niveles excesivos de corriente, hasta tal punto, que su funcionalidad puede quedar dañada parcial o completamente^[4].

Otro inconveniente que presentan los diodos láser es la susceptibilidad a los *cambios de temperatura*. Estas variaciones, pueden ocasionarse bien por el calentamiento del propio '*LD*', o por cambios en la temperatura del entorno^[5].

La temperatura es un factor del que dependen algunas de las principales propiedades de los diodos láser, tales como la longitud de onda (λ) o la corriente de umbral (I_{th}) entre otras. Este hecho conlleva a que los cambios de temperatura que se produzcan, modifiquen el punto de operación del dispositivo, perturbando así las medidas realizadas por medio de un sistema de instrumentación optoelectrónico^{[3][5]}.

Estos inconvenientes, hacen que para operar con diodos laser sea necesario utilizar circuitos de protección y acondicionamiento, que no solo eviten el deterioro del dispositivo, sino que también contribuyan a la estabilización de la potencia óptica emitida, por medio de la compensación de las fluctuaciones de la temperatura, y de la tensión y corriente de alimentación entre otros factores^[5].

En este documento se presenta como solución a la problemática planteada, la implementación de un circuito de acondicionamiento para el control y estabilización de la potencia óptica emitida por un diodo láser, basado en un circuito integrado de aplicación específica (*ASIC*). Este, proporciona una solución completa, ya que además de estabilizar la emisión del '*LD*', ofrece diferentes medidas de seguridad tales como el filtrado de la línea de alimentación, protección ante niveles de corriente y tensión excesivos y arranque controlado.

1.2. Objetivos.

En base a todo lo expuesto con anterioridad, el **objetivo** de este proyecto se centra en el diseño de un circuito de acondicionamiento para diodos láser basado en una solución '*ASIC*', que contribuya de forma automática a la regulación y estabilización de la potencia óptica emitida, permitiendo así, que el '*LD*' pueda ser utilizado como fuente de iluminación en sistemas de instrumentación optoelectrónicos con sensores de fibra óptica. La metodología a seguir para alcanzar el objetivo se describe a continuación:

- Diseño eléctrico del circuito de acondicionamiento
- Implementación del diseño en tarjeta de circuito impreso (*PCB*)
- Caracterización del sistema
- Aplicación práctica: Estabilidad en un interferómetro

1.3. Medios empleados.

En este apartado se indica brevemente tanto el software utilizado, como el material necesario para la ejecución del proyecto. Aquí, se puede plantear una división del proceso en tres fases de desarrollo: La etapa de diseño electrónico, la implementación del circuito en '*PCB*' (*tarea subcontratada*), y por último la caracterización del sistema. La Tabla 1.3-1 resume los medios empleados.

(1) Diseño electrónico	Software	OrCAD Capture v.16
	Hardware	PC
(2) Implementación en PCB	Software	OrCAD PCB Editor
	Hardware	PC
	Otros	Taladradora, estación de soldadura y componentes.
(3) Caracterización del sistema	Software	Software (<i>SW</i>) de control para Cleverscope
	Hardware	PC, sistema de adquisición Cleverscope
	Otros	Mesa óptica, instrumentación, componentes electrónicos y ópticos.

Tabla 1.3-1: Medios empleados.

En la primera etapa se utiliza el software '*OrCAD Capture v.16*', para realizar los esquemáticos correspondientes al circuito de control. Posteriormente, con la ayuda del programa '*OrCAD PCB Editor*' se establecen las asociaciones necesarias entre los componentes que forman parte del circuito electrónico y las dimensiones reales de sus encapsulados.

A partir de este momento, se hace imprescindible contar con un laboratorio, no solo para poder soldar los componentes a la '*PCB*' fabricada por una empresa externa a partir de los datos

que se les suministra, sino también para realizar los montajes necesarios a la hora de caracterizar el sistema completo.

Todos los medios utilizados se detallan a lo largo del desarrollo del documento. Sin embargo, dentro de la instrumentación de medida, cabe describir con detalle el sistema de adquisición ‘*Cleverscope*’, empleado en la captura de formas de onda. Se trata de un software de aplicación, provisto de un controlador que se conecta por medio de *USB* a un *PC* (Ver Figura 1.3-1). El controlador está equipado con diferentes interfaces para la conexión de sondas y otros accesorios de medición^[6].

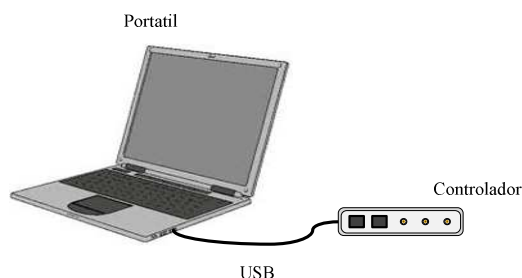


Figura 1.3-1: Esquema de montaje del sistema de adquisición.

Este software está dotado de numerosas herramientas de medida que simulan perfectamente las funciones de un osciloscopio real. Dentro de sus principales especificaciones destacan^[6]:

1. Ancho de banda de 100MHz
2. Almacenamiento de 8M muestras
3. 2 canales analógicos.
4. 8 canales digitales
5. Señal de disparo mixta
6. Generador de señales de hasta 10MHz

1.4. Estructura de la memoria.

El presente documento se estructura de la siguiente manera:

El capítulo 2 introduce un marco teórico, donde se tratan diferentes aspectos dentro del área de la instrumentación optoelectrónica. Aquí, el foco de atención recae sobre las fuentes de iluminación de los sistemas que emplean sensores de fibra óptica, dado que si la estabilidad de dicha fuente no es apropiada, las medidas que se realicen pueden ser perturbadas. En particular, se estudian los principios de funcionamiento de los diodos láser, valorando tanto sus principales propiedades como sus desventajas, y se tratan en profundidad los sensores basados en modulación de fase, remarcando las propiedades que deben presentar dos ondas electromagnéticas para interferir.

El capítulo 3 se centra en la solución propuesta al problema expuesto en la introducción del documento. Inicialmente, se plantean los requisitos necesarios que debe cumplir el circuito de control a diseñar, y se hace hincapié en las dos posibles situaciones que se pueden presentar al tratar de regular un diodo láser a través de estos sistemas. Posteriormente, se valoran las distintas alternativas disponibles en el mercado, y la opción escogida se implementa en una ‘*PCB*’.

El capítulo 4 recoge la caracterización del circuito de acondicionamiento diseñado. Se describen tanto los montajes utilizados para cada una de las pruebas, como la instrumentación empleada. Con ello, se pretende verificar la funcionalidad del driver, comparando los resultados obtenidos con los del fabricante. Se comprueban propiedades como el arranque controlado, protecciones, respuesta en frecuencia y nivel de estabilidad de emisión alcanzado por el diodo láser.

Al final, se presentan las conclusiones alcanzadas durante esta investigación y un presupuesto, en el que se detalla el coste de este proyecto en caso de llevarse a cabo. Adicionalmente, se añaden anexos, que contienen las hojas de catálogo de los integrados y las propiedades de los dispositivos optoelectrónicos empleados.

Capítulo 2. Marco teórico.

2.1. Sensores de fibra óptica. Introducción al diodo láser.

La **Optoelectrónica** se ha convertido en un área de creciente interés en las últimas décadas. Se sitúa a medio camino entre la electrónica basada en el Silicio; que transmite la información en forma de electrones (*señal eléctrica*), y la fotónica, que lo hace en forma de ondas electromagnéticas (*señal óptica*). Son numerosas las aplicaciones de esta disciplina, pero cabe resaltar su efectividad en el campo de las telecomunicaciones, donde las redes de comunicación por fibra óptica permiten transportar millones de veces más información que los cables convencionales^[7].

La **Fibra Óptica**, debido a sus buenas propiedades, no solo es empleada como medio de transmisión de señales, sino que también puede ser utilizada como elemento de sensado remoto. A continuación, se enumeran algunas las características que la convierten en una opción especialmente atractiva cuando surge la necesidad de realizar medidas en zonas difícil acceso o lugares sujetos a condiciones extremas, tales como la presencia de alto voltaje o material inflamable^{[8][9]}.

- Pequeño tamaño y bajo peso.
- Alta precisión.
- Inmunes a la interferencia electromagnética (*EMI*) y radiofrecuencia (*RFI*).
- Eléctricamente aisladas.
- Soportan altas temperaturas.

La mayor parte de las propiedades físicas existentes (*temperatura, presión, deformaciones, vibraciones, campos electromagnéticos o desplazamientos por citar algunos ejemplos*) pueden ser medidas ópticamente por medio de fibra. Dependiendo del tipo de sensor, la magnitud a medir puede quedar codificada principalmente en la intensidad (I), en la fase (ϕ), o en la longitud de onda (λ) de la señal portadora. De este modo, los sensores de fibra óptica quedan divididos en tres categorías. Un esquema general de un sistema de instrumentación con sensor de fibra óptica se puede observar en la Figura 2.1-1^{[8][9]}.

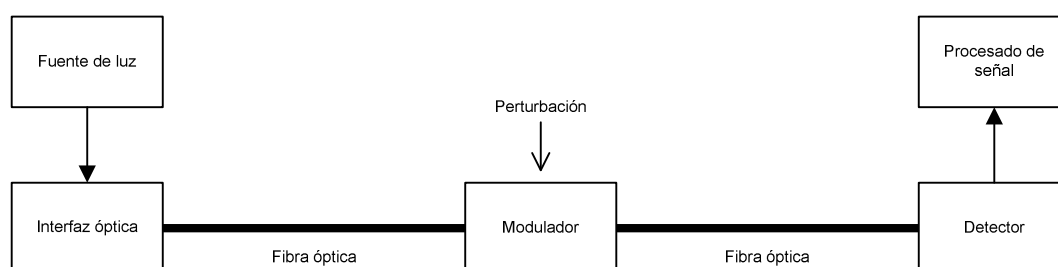


Figura 2.1-1: Esquema general de un sistema de instrumentación con sensor de fibra óptica.

Los sistemas de instrumentación con sensores de fibra basados en la '*modulación de intensidad*' son los sensores más sencillos, ya que solo precisan una fuente de luz para alimentar el sistema, y un detector para poder percibir y cuantificar estas variaciones de intensidad. Estos sensores, están generalmente asociados a desplazamientos de objetos u otras perturbaciones físicas que interactúen con la fibra. Esta interacción, provoca reflexiones y dispersiones internas del haz

que causan la pérdida de intensidad, razón por la que normalmente requieren más cantidad de luz para funcionar que otros sensores^{[8][9]}.

Otra forma de codificar la información, es a través de fluctuaciones de la longitud de onda característica de la fuente de luz del sistema (*modulación de longitud de onda*). Este haz, si es perturbado de un modo apropiado, provoca la aparición de fenómenos fluorescentes/fosforescentes que alteran este parámetro. Este tipo de sensores ópticos se emplean fundamentalmente en el campo de la química y para medir deformaciones y variaciones de temperatura, dado que los fenómenos antes mencionados están directamente relacionados con intercambios energéticos. Dentro de esta categoría, destacan los sensores con redes de Bragg^{[8][9]}.

Por último, podemos encontrar los sensores basados en la '*modulación de fase*'. Esta metodología es la base de las técnicas interferométricas. Aquí, para descodificar la señal, se realiza una comparación entre la fase de la onda de luz que transporta la fibra de sensado sometida a perturbaciones, y una onda de referencia. Con estos sensores, por lo general, se alcanza una mejor resolución que con los anteriores, pero por contrapartida su implementación también es más costosa^{[8][9]}.

En el apartado 2.2, se retoma la descripción de los sensores de fibra óptica, haciendo hincapié en aquellos basados en la modulación de intensidad y modulación de fase, dado que son los sistemas ópticos con los que se realizarán las pruebas de caracterización.

En todos ellos, la señal portadora de la información es la fuente de luz utilizada para iluminar el sistema de instrumentación. Este hecho, provoca que la estabilidad de la fuente juegue un papel fundamental, ya que un haz inestable puede llegar a perturbar las medidas realizadas.

Algunas de las fuentes comúnmente empleadas en estos sistemas de instrumentación con fibra óptica son los **diodos láser (LD)**, los diodos emisores de luz (**LED**) y los diodos superluminiscentes (**SLED**)^{[8][9]}. Dentro de este grupo, destaca el '**LD**' por encima del resto gracias a las propiedades detalladas a continuación^[10]:

- Dispositivos compactos
- Alta eficiencia cuántica (~50-60%)
- Posibilidad de incorporar modulación en corriente
- Haz coherente
- Espectro de emisión caracterizado por un ancho de banda estrecho

Sin embargo, estos dispositivos presentan una serie de desventajas que merecen especial atención. Son extremadamente sensibles ante '**ESD**', transitorios y niveles excesivos de corriente, el haz de salida presenta una elevada divergencia (θ), y la principal: El **efecto de la temperatura** sobre sus propiedades eléctricas^[10].

Dentro del amplio mercado de los diodos láser, se pueden encontrar dispositivos de mayor o menor potencia óptica, embebidos en distintos tipos de encapsulados, pueden presentar refrigeradores internos (*coolers*) para controlar la temperatura, o incluso componentes ópticos para mejorar la dispersión del haz. Sin embargo, muchos de ellos poseen dentro del mismo encapsulado, aparte del diodo emisor propiamente dicho, un fotodiodo (**PD**), que normalmente se emplea para monitorizar internamente la potencia óptica emitida, y que también puede utilizarse dentro de un circuito de control para cerrar un lazo de realimentación, y de esta forma estabilizar la potencia de

emisión. En la Figura 2.1-2, se recogen las tres topologías internas existentes vinculadas a la presencia del fotodiodo monitor.

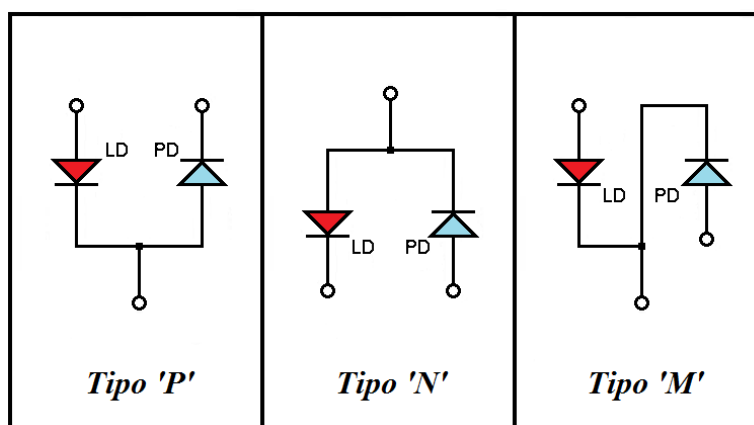


Figura 2.1-2: Configuraciones de diodos láser con tres terminales de conexión.

En esta figura, se puede apreciar como las tres configuraciones mostradas que combinan 'LD' y 'PD', tienen siempre accesibles los dos terminales del diodo láser (*aunque uno de ellos esté cortocircuitado con el ánodo o el cátodo del fotodiodo*), y uno de los dos terminales del fotodiodo monitor.

Sin embargo, debido a la gran diversidad antes mencionada, es preciso conocer previamente la topología interna del diodo láser con el que se va a trabajar, para operar con el de un modo apropiado. La Tabla 2.1-1 recoge todas las configuraciones existentes, indicando la relación que existe entre esta, y el número de terminales de conexión que puede presentar el encapsulado del diodo láser.

Terminales de conexión	Distribución interna
2	Diodo láser
3	Diodo láser + Fotodiodo monitor (<i>Ver Figura 2.1-2</i>)
4	Diodo láser + Fotodiodo monitor (<i>sin terminal común</i>)

Tabla 2.1-1: Relación entre los terminales de conexión y la configuración interna de un 'LD'.

Estos componentes optoelectrónicos han experimentado en las últimas décadas un desarrollo tal, que les ha llevado convertirse en elementos clave dentro de la fotónica moderna^[10]. Se trata de dispositivos semiconductores de unión PN, que al ser polarizados en directa ($V_{AK} > 0$, donde ' V_{AK} ' representa la diferencia de tensión entre el ánodo y el cátodo del diodo) emiten luz. Su principio de funcionamiento está basado en la 'Teoría de Bandas'. Así pues, las recombinaciones entre electrones libres (zona N) y huecos (zona P), dan lugar a cuantos de energía (fotones), cuya longitud de onda dependerá del 'GAP' energético que exista entre ambos. Hecho, que depende directamente del tipo de material semiconductor del que estén fabricados^{[10][11]}.

La funcionalidad de un 'LD' es muy similar a la de un diodo 'LED', ya que en ambos casos la conversión energética presenta un comportamiento lineal dentro de un determinado rango de operación. La diferencia en el comportamiento de ambos, radica en que existe un valor umbral de corriente (I_{th}), que marca la frontera entre una emisión espontánea (*propia de los LEDs*) y una emisión estimulada (*amplificada*). Así pues, a partir de este valor, el comportamiento del diodo láser se caracteriza por ser lineal de acuerdo a la siguiente expresión^[11]:

$$P_{OUT} = \eta_d \cdot (I_F - I_{th})$$

Donde, ' η_d ' es la eficiencia que se expresa en unidades de $[mW/mA]$, ' P_{OUT} ' es la potencia óptica emitida e ' I_F ' es la corriente suministrada al dispositivo (*en polarización directa*).

Para una mejor comprensión de su funcionamiento, se añade la Figura 2.1-3. En ella, aparte de distinguirse con claridad ambas regiones, se puede comprobar el efecto que provocan las variaciones de temperatura sobre las propiedades del diodo láser. Cabe destacar, que al igual que el rango de emisión del ' LD ' depende del tipo de semiconductor (*Ver Tabla 2.2-2*), tanto la eficiencia como las corrientes y potencias de operación, también dependen de este material.

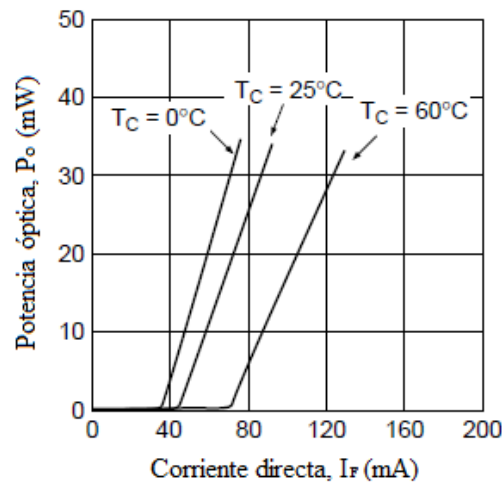


Figura 2.1-3: Potencia óptica de salida en función de la corriente suministrada^[Anexo C].

En este caso, la Figura 2.1-3 muestra la curva característica de operación del diodo láser modelo '*Hitachi HLG6501MG*'. Como se puede observar, los cambios de temperatura ocasionados bien por el calentamiento del propio ' LD ', o por variaciones de la temperatura del entorno, tienen una repercusión directa en la relación que existe entre la potencia óptica emitida por un diodo láser y su consumo de corriente. De este modo, un aumento de la temperatura, hace que sea necesario suministrar más corriente al ' LD ' para poder alcanzar un nivel de potencia óptica deseado.

Este hecho conlleva a que las fluctuaciones de temperatura que se produzcan, modifiquen el punto de operación del dispositivo, introduciendo así perturbaciones cuando el ' LD ' se encuentre iluminando un sistema de instrumentación optoelectrónico. Esta dependencia responde a una evolución exponencial, según la siguiente expresión^[12]:

$$I_{th,T} = I_0 \cdot e^{T/T_0}$$

Aquí, ' $I_{th,T}$ ' representa el valor que toma la corriente umbral del diodo láser para una temperatura ' T ' dada. Se puede calcular el valor que toma este parámetro para cualquier temperatura, conociendo la constante ' I_0 ' que depende del tipo de semiconductor, y la '*Temperatura Característica*' del diodo láser (T_0). Esta última, se determina experimentalmente midiendo la corriente umbral del dispositivo a una ' T_{base} ' alrededor de $25^\circ C$, y a una temperatura de operación límite de unos $80^\circ C$ (T_{alta})^[12].

$$I_{th,T_{alta}} = I_{th,T_{base}} \cdot e^{(T_{alta}-T_{base})/T_0}$$

La temperatura característica determina la degradación del diodo láser e indica la sensibilidad del dispositivo ante variaciones de temperatura. Por tanto, un diodo láser térmicamente estable, está caracterizado por valores altos de ' T_0 '. Hecho que implica, que las variaciones de corriente umbral debido a la temperatura son menores que para bajos valores de ' T_0 '^[12].

Se deduce a partir de estas expresiones, que un pequeño incremento de la temperatura, implica un aumento significativo de la corriente umbral y/o de polarización directa, que de no controlarse, supondría la ruptura del diodo láser. De ahí, la importancia que adquiere este factor durante su operación.

La Figura 2.1-4 representa esta dependencia exponencial tomando como ejemplo nuevamente al diodo láser '*Hitachi HLG6501MG*', aunque debido a que el eje vertical se encuentra representado en una escala logarítmica, da la sensación de tratarse de una relación lineal. Por tanto, al operar con diodos láser es frecuente el uso de elementos disipadores internos o externos, que ayuden a liberar el calor generado por el diodo láser durante su funcionamiento, contribuyendo así, a evitar grandes variaciones de temperatura

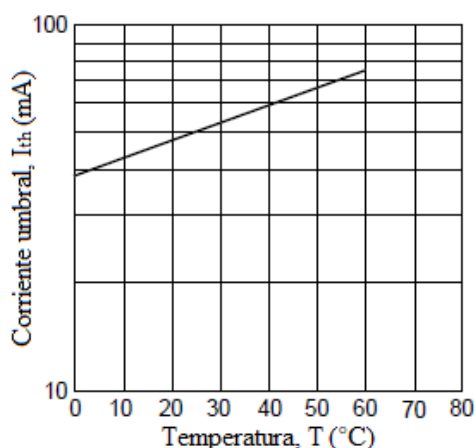


Figura 2.1-4: Corriente umbral en función de la temperatura^[Anexo C].

Como ya hemos comentado anteriormente, en los encapsulados que presentan tres terminales de conexión, existe un fotodiodo monitor que acompaña al '*LD*'. El **Fotodiodo**, también se caracteriza por ser un dispositivo optoelectrónico de unión PN, pero a diferencia del diodo láser, este se polariza en inversa ($V_{AK} < 0$). Con él, se obtienen corrientes inversas (I_r) proporcionales a la potencia óptica incidente (P_{IN}), aunque presentan pequeñas corrientes en ausencia de luz (*corriente oscuridad*). La dependencia entre ambos parámetros, viene dada por la *Responsividad* o *Sensibilidad* ('*R*' o '*S*' en unidades de [mA/mW]), según la siguiente expresión^[13]:

$$I_r = S \cdot P_{IN}$$

Tal y como se puede apreciar en la Tabla 2.2-2, al igual que en el caso de los diodos láser, las propiedades del fotodiodo también dependen del tipo de semiconductor empleado en su fabricación. Aquí, la respuesta del dispositivo no es la misma para cualquier región del espectro, si no que presenta una respuesta máxima ante una longitud de onda determinada. Se habla por tanto de *ancho de banda espectral*^{[13][14]}.

Los fotodiodos de Silicio son los que se emplean con mayor frecuencia en el espectro visible. Estos, presentan un pico de sensibilidad entre los 800 y 900nm. También se utilizan los de Germanio e InGaAs, pero en una región IR comprendida entre los 1100 y 1700nm^{[13][14]}. La Figura 2.1-5 muestra el comportamiento espectral típico de un fotodiodo de Silicio, en este caso particular del modelo 'Avago SFH250V'. Se puede comprobar, cómo este dispositivo presenta una respuesta máxima ante una longitud de onda aproximada de 850nm.

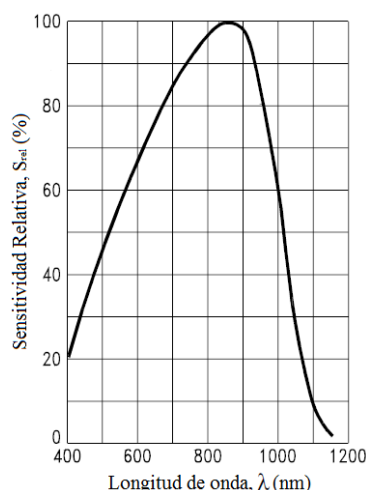


Figura 2.1-5: Sensibilidad espectral relativa^[Anexo E].

2.2. Interferometría. Configuraciones y aplicaciones.

Como ya se ha tratado en el apartado anterior, todos los sistemas de instrumentación que emplean sensores de fibra óptica están basados en la **modulación**. Este proceso consiste en variar alguna de las propiedades de una señal portadora (*fente de iluminación del sistema en este caso*) con la finalidad de codificar y transmitir información.

En una onda de luz, los principales parámetros susceptibles a ser modulados son la intensidad (I), la fase (ϕ) y la longitud de onda (λ). Estos, se encuentran directamente relacionados con las tres técnicas básicas de modulación: La modulación en Amplitud (AM), en Fase (PM) y en Frecuencia (FM) respectivamente. En cualquiera de las opciones anteriores, se puede emplear una onda continua como señal portadora, o aprovechar las ventajas de una onda senoidal de alta frecuencia como la mostrada en la Figura 2.2-1^{[8][9]}.

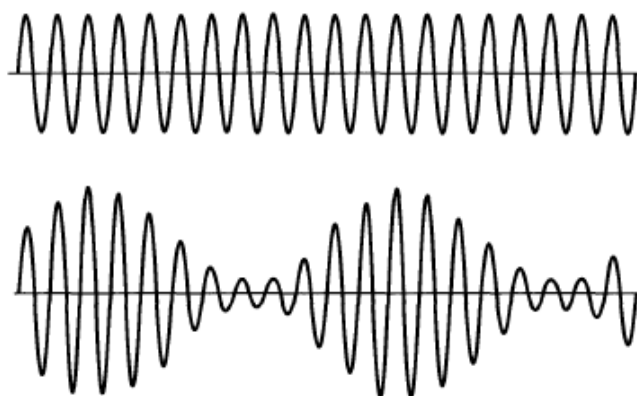


Figura 2.2-1: Portadora de alta frecuencia [arriba] y señal modulada en amplitud [abajo].

Esta opción, suele ser empleada sobre todo en la modulación 'AM'. Al desplazar la frecuencia de operación a ventanas cercanas a los megahercios, se consigue aislar al sistema de medida de ruidos de baja frecuencia como los armónicos de la red, el ruido rojo o el ruido rosa (*flicker*)^{[8][9]}.

Este tipo de modulación destaca junto a la modulación 'PM' dentro de las tres categorías. La primera debido a su sencillez y la segunda por su eficiencia. A continuación, se profundiza en la segunda técnica (PM) dado que es el sistema de medida empleado en la caracterización del circuito de acondicionamiento diseñado^{[8][9]}.

La modulación 'PM' es el fundamento de las técnicas interferométricas^{[8][9]}. La **Interferometría**, es una técnica de medida nacida de la concepción de la luz como onda electromagnética, debido a los experimentos de *Thomas Young* a principios del siglo XIX. Basada en el fenómeno de la *Interferencia*, consiste en combinar la luz proveniente de diferentes focos o caminos ópticos en un punto determinado del sistema tal y como se detalla en la Figura 2.2-2. Tiene como propósito, efectuar medidas de gran precisión y resolución, tomando la longitud de onda característica de las ondas electromagnéticas como patrón de medida^[15].

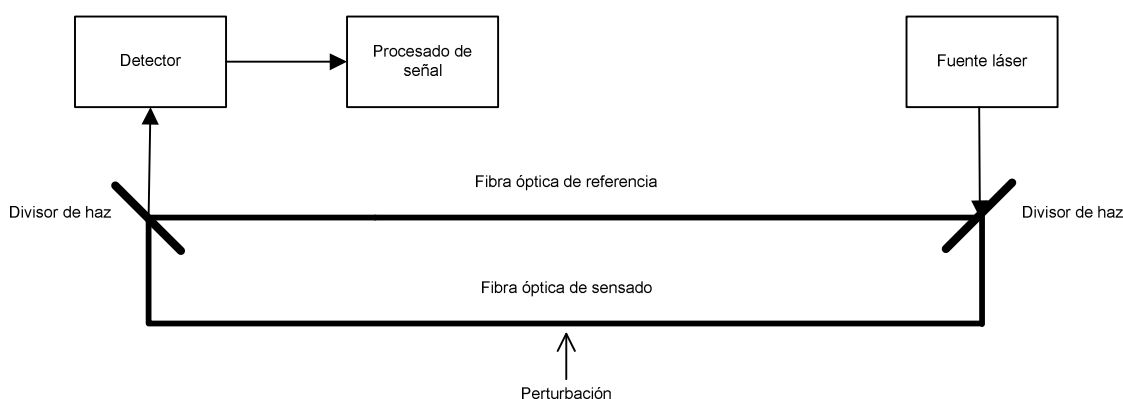


Figura 2.2-2: Esquema de un sensor de fibra óptica con modulación de fase.

Este método ha sido utilizado como técnica de laboratorio durante cientos de años. En la actualidad, ha pasado a ser una herramienta indispensable en muchas actividades, gracias a los avances tecnológicos desarrollados a lo largo de este tiempo. Estos, han mejorado su alcance y precisión, haciendo posible que esta disciplina sea práctica dentro de un amplio rango de medidas^[15].

El **Interferómetro** representa el instrumento óptico de medida. Existen muchas configuraciones posibles, pero todas ellas se basan en dos o más haces de luz que recorren trayectorias ópticas distintas que, finalmente convergen para formar un patrón de interferencia. Dentro de este grupo, se pueden mencionar entre otros los interferómetros de *Michelson*, *Mach-Zendher*, *Sagnac* y *Fabry-Pérot*^[16]. A continuación, por su sencillez a la hora de montarlos y alinearlos, se realiza una breve explicación del funcionamiento de los dos primeros:

Para obtener dos o más haces a partir de una única fuente de luz, se utilizan diversos elementos ópticos, dentro de los cuales destaca el *Divisor de Haz* (*Beam Splitter*) por su uso generalizado. Consta de una lámina transparente bañada con una película parcialmente reflectante de manera que este elemento es capaz de reflejar una porción del haz incidente y transmitir el resto^[16]. Existen divisores de diferentes relaciones (20%/80%, 10%/90%, 1%/99%,...), pero se

suelen emplear divisores que reflejan el 50% de la señal y transmiten el otro 50%. Este hecho, favorece la obtención a la salida de un patrón de alta visibilidad, ya que la potencia óptica de ambos caminos, y por tanto la amplitud de las ondas electromagnéticas va a ser la misma.

En el **Interferómetro Michelson**, el mismo divisor de haz se utiliza tanto para realizar la división de amplitud, como para recombinar posteriormente los haces reflejados en los dos espejos. Los dos caminos ópticos se encuentran claramente definidos (*flechas naranjas*), y su diferencia puede ser modificada con solo trasladar uno de los espejos (Δl). La Figura 2.2-3 muestra la disposición de los elementos que constituyen este interferómetro, así como el desplazamiento que experimenta el haz láser incidente a lo largo de esta configuración^{[16][17]}.

El haz de luz, cada vez que incide sobre el divisor de haz, sufre una división de amplitud del 50%. En la Figura 2.2-3, la flecha granate representa el 100% de la señal, las naranjas el 50% y las amarillas el 25%. Por tanto, a la salida del interferómetro tenemos dos haces de luz (*representados por las flechas amarillas*), uno en dirección a la fuente de luz y otro en dirección a la pantalla, cuya potencia óptica asociada se corresponde con el 50% de la potencia de la señal inicial.

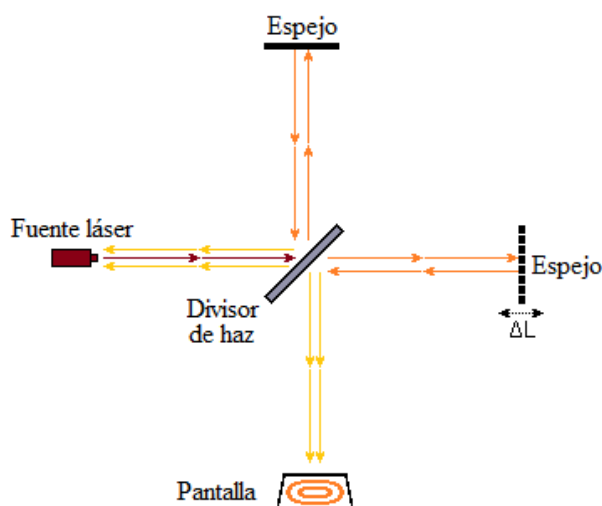


Figura 2.2-3: Interferómetro Michelson.

Una de las peculiaridades que presenta esta configuración, es que cuando a uno de los brazos se le somete a una perturbación, bien por el desplazamiento de uno de los espejos o una variación del índice de refracción en uno de sus brazos, esta, afecta por duplicado al patrón de salida. Esto, se debe a que los haces resultantes del primer paso por el divisor de haz, atraviesan en dos ocasiones el mismo tramo del interferómetro debido a orientación de la reflexión en ambos espejos. Por ello, sus principales aplicaciones se centran en las medidas de longitud y desplazamientos^{[16][17]}.

Otro tipo de configuración es el **Interferómetro Mach-Zehnder**. Este, se basa en el mismo principio que el Michelson, con la diferencia de que se utilizan dos divisores de haz y dos espejos para dividir y recombinar los haces de luz. Tal y como se refleja en la Figura 2.2-4, con esta configuración también se obtienen dos haces a la salida con el 50% de la potencia óptica inicial asociada. Pero únicamente una de las dos señales, es utilizada para realizar la adquisición de dlla información^{[16][17]}.

Esta configuración tiene dos propiedades muy atractivas: Por un lado, ambos brazos están bien espaciados y son atravesados una única vez, y por otro, es posible orientar su región de

localización, de manera que el haz de salida coincida con el objeto sometido a prueba. Sin embargo, a diferencia del interferómetro Michelson, su ajuste no es sencillo. Sus principales campos de aplicación se centran en las perturbaciones del índice de refracción del medio^{[16][17]}. Como por ejemplo, en transferencias de calor o perturbaciones de temperatura en plasmas^[19].

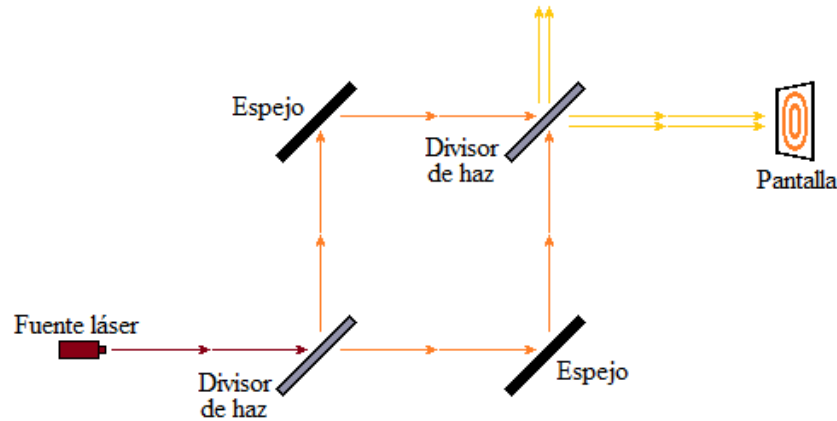


Figura 2.2-4: *Interferómetro Mach-Zehnder.*

La presencia de los caminos ópticos por los que viajan los haces de luz, es necesaria para poder realizar la medida en cuestión. Aquí, uno de los brazos se comportará como camino referencia, mientras que el otro, estará sujeto a perturbaciones de distinta índole que afectarán a la diferencia de camino óptico (Δp) entre ambos. Esta diferencia se define matemáticamente como^[16]:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \sum_{i=1}^n n_{i,1} d_{i,1} - \sum_{j=1}^n n_{j,2} d_{j,2}$$

Donde ' n ' es el índice de refracción y ' d ' representa la longitud de cada uno de los caminos.

Las ondas resultantes de la división, al proceder de un mismo foco, se caracterizan por tener la misma longitud de onda (λ) y fase en el origen (ε). Se puede establecer por tanto, una correspondencia entre la diferencia de fase ($\Delta\phi$) y la diferencia del camino óptico, de manera que^[16]:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi \cdot \Delta p}{\lambda} = \phi_1 - \phi_2$$

Es decir, que cualquier variación que se produzca o bien en el índice de refracción de uno de los caminos, o bien en su longitud, afectará directamente a la diferencia de fase entre ambas ondas, inicialmente nula ($\Delta\phi=0$), modificando así la interferencia resultante.

El primero que tomó la longitud de onda de la luz como referencia para especificar dimensiones de objetos fue *Albert Abraham Michelson*^[15]. Al medir longitudes, se tiene en cuenta que en el patrón de interferencia que se obtiene, la distancia entre dos franjas con la misma intensidad (*o bien dos franjas opacas o dos franjas iluminadas*) se corresponde con la magnitud de la longitud de onda aplicada al sistema (*Ver Figura 2.2-5*). Es posible por tanto, calcular un desplazamiento (Δl), contando el número de veces que el centro del patrón de interferencia vuelve a ser como al principio ($\Delta\phi=0$)^[17].

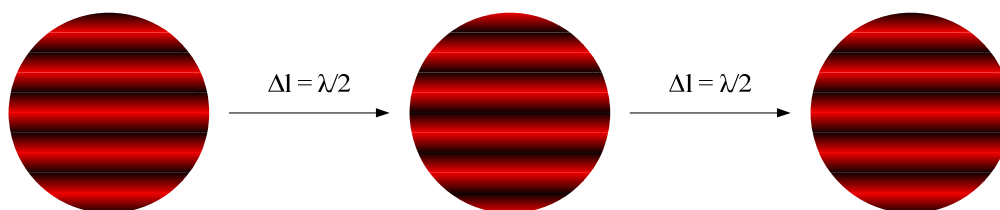


Figura 2.2-5: Relación entre el movimiento de las franjas y la longitud de onda.

Se utilizan procesos bastante laboriosos en el proceso de medición, ya que no es posible ni eficaz contar las franjas de interferencia que aparecen hasta llegar a la distancia a medir. Algunas de las aplicaciones actuales de la metrología óptica se centran en medidas de desplazamiento, temperatura, presión, distancia, vibraciones y campo electromagnético. También se puede mencionar su uso en el ámbito de la microscopía y espectroscopía, en pruebas de sistemas ópticos y en estudios de flujos de gas y plasma. En cualquier caso, el abanico de aplicaciones es muy extenso^{[15][16]}:

- *Determinación de la forma exacta de una superficie*
- *Medida de emisiones acústicas de ultrasonidos*^[18]
- *Alineación de objetos*
- *Determinación de cambios del índice de refracción.*
- *Medida de perfiles de densidad electrónica en plasmas de fusión*^[19]
- *Determinación de la velocidad o sus variaciones*
- *Medida de ángulos*

Todas las aplicaciones interferométricas requieren una iluminación a partir de una fuente estable y *Coherente*. Durante muchos años, únicamente la iluminación por medio de lámparas incandescentes se acercaba a este tipo de emisión. Sin embargo, estas fuentes térmicas tenían dos inconvenientes: Por un lado, la potencia óptica emitida no era suficiente, y por otro, estaban caracterizadas por una coherencia espacial y temporal limitada^[20].

Uno de los avances más importantes en este ámbito, dado que están caracterizados por emitir un haz intenso, acompañado de un alto grado de coherencia espacial y temporal, fue la invención del **Láser**. Estos, superaron las limitaciones impuestas por las fuentes convencionales, permitiendo así, una evolución dentro del área interferométrica. Además, muchas otras aplicaciones surgieron con la incorporación de la fibra óptica a los interferómetros analógicos, e incluso con el uso de fotodetectores y de la electrónica digital en el procesado de señal^[20].

Dentro de este grupo destacan los láseres de Helio-Neón, Dye (*Tinte*), Semiconductores, Dióxido de Carbono, etc. En la Tabla 2.2-1, se citan algunos de los láseres comúnmente empleados en interferometría, especificando sus principales características de operación^[20].

Tipo de láser	Estado	Región espectral (nm)	Operación	Nivel de emisión
He-Ne	Gas	540 / 610 / 630 / 1150 / 3390	Continua	0,5 - 25mW
Ar ⁺	Gas ionizado	490 / 510	Continua	0,5 - 10W
CO ₂ -N ₂ -He	Gas	~9000 / ~10600	Continua Pulsada	3W - 2kW
Dye	Líquido	~410 > λ > ~1080	Continua	10 - 100mW
Semiconductor	Sólido	~670 / ~750 / ~870	Continua Pulsada	5 - 500mW
Nd-YAG	Sólido	1060	Continua Pulsada	0,1 - 0,15J
Rubí	Sólido	690	Pulsada	0,6 - 10J

Tabla 2.2-1: Láseres utilizados en interferometría^{[20][21]}.

Los primeros, Helio-Neón (*He-Ne*), son ampliamente utilizados debido a su bajo coste y a las buenas propiedades de haz que emiten. Son capaces de proporcionar una salida continua en el rango visible (*habitualmente a 633nm. [color rojo]*) e infrarrojo cercano (*NIR*)^{[20][21]}.

Una segunda categoría de láseres de gas son los de gas ionizado. Los láseres de Argón (*Ar⁺*), son más costosos pero su emisión es más potente. El hecho de que manejen corrientes y potencias más elevadas, implica una serie de restricciones de tipo práctico que no tienen los otros láseres, como por ejemplo, el proceso de refrigeración. Además, su vida útil es corta comparada con la del resto de láseres de gas. Pueden operar a determinadas longitudes de onda dentro de las regiones visibles y ultravioleta cercano (*NUV*). En la Tabla 2.2-1, se mencionan sus longitudes de onda típicas de operación^{[20][21]}.

Por último, dentro de los láseres de gas, se encuentra el de Dióxido de Carbono. Pueden operar de forma continua o pulsada en dos bandas concretas dentro de la región infrarroja (*IR*). Tanto la magnitud de la longitud de onda de su rango de operación, como la alta potencia óptica que emiten, les hace ser muy útiles en medidas a gran distancia^{[20][21]}.

Como láser de estado líquido, destaca el Dye (*Tinte*). La gran ventaja de estos láseres, es que se puede sintonizar cualquier color deseado, desde el infrarrojo hasta el ultravioleta (*UV*), según el colorante que se utilice. En cambio, tienen la desventaja de que su excitación se realiza por medio del haz coherente de otro láser, como por ejemplo el de Argón^{[20][21]}.

En este proyecto, nos centraremos en las características de los láseres de tipo **Semiconductor** (**Diodo Láser**), ya que son pequeños, relativamente económicos y con propiedades adecuadas para instrumentación. Dependiendo del tipo de material del que estén fabricados, emiten luz en un rango espectral determinado (*Ver Tabla 2.2-2*)^{[20][21]}.

Semiconductor	Región espectral (nm)
GaN	$365 < \lambda < 400$
InGaN	$405 < \lambda < 450$
AlGaInN	$470 < \lambda < 500$
AlGaInP	$630 < \lambda < 670$
GaAlAs	$720 < \lambda < 850$
InGaAs	$900 < \lambda < 1100$
InGaAsP	$1300 < \lambda < 1650$

Tabla 2.2-2: Tipo de semiconductor y longitudes de onda asociadas^[11].

A diferencia de otros tipos de láser, como el de Rubí, los diodos láser pueden operar tanto de forma continua como pulsada. Se caracterizan por ser compactos, de baja potencia y sobre todo, modulables. Es decir, con ellos se puede transmitir información con facilidad. Sin embargo, su haz de salida es divergente y astigmático, aunque los encapsulados llevan incorporados elementos ópticos adicionales para conseguir un haz colimado^{[20][21]}. La Figura 2.2-6 refleja uno de los encapsulados típicos de un diodo láser.



Figura 2.2-6: Encapsulado TO típico de un diodo láser^[22].

2.3. Interferencia de ondas electromagnéticas. Propiedades.

La *Óptica* es la rama dentro de la física que estudia el comportamiento de la luz, sus características y su interacción con el medio que la rodea. La *Luz* es un agente físico que permite que los cuerpos sean visibles gracias al fenómeno de la radiación. Este agente, puede ser concebido en unos experimentos o bien como una onda electromagnética (*no mecánica, transversal, periódica y tridimensional*) que se propaga a través del espacio, o bien como un flujo de partículas denominadas *Fotones*^[23]. Esta doble concepción se conoce con el nombre de '*Dualidad onda-corpúsculo de De Broglie*'^[15].

El *Fotón* es la partícula elemental responsable de los fenómenos electromagnéticos. Entenderemos por tanto la luz, como un haz de fotones viajando a través de un medio con velocidad constante ' $v = c / n$ ' dónde ' c ' es la velocidad de la luz en el vacío ($\sim 3 \cdot 10^8$ m/s) y ' n ' el índice de refracción del medio. Se caracterizan por no tener masa en reposo, ser indivisibles y por llevar asociado un nivel de energía (E) que depende directamente de su frecuencia de oscilación (f)^[24].

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad ; \quad \text{dónde} \quad h = 6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s (cte. de Planck)}$$

La *Longitud de Onda* (λ) es otro parámetro vinculado a la energía transportada por una onda electromagnética. Se define como el período espacial de la misma, es decir, la distancia que existe entre dos puntos de igual magnitud de campo eléctrico^[24]. Es una propiedad de gran importancia dado que dependiendo de su valor, una onda puede ser visible o ser extremadamente peligrosa. En la Figura 2.3-1, se muestra el espectro electromagnético completo.

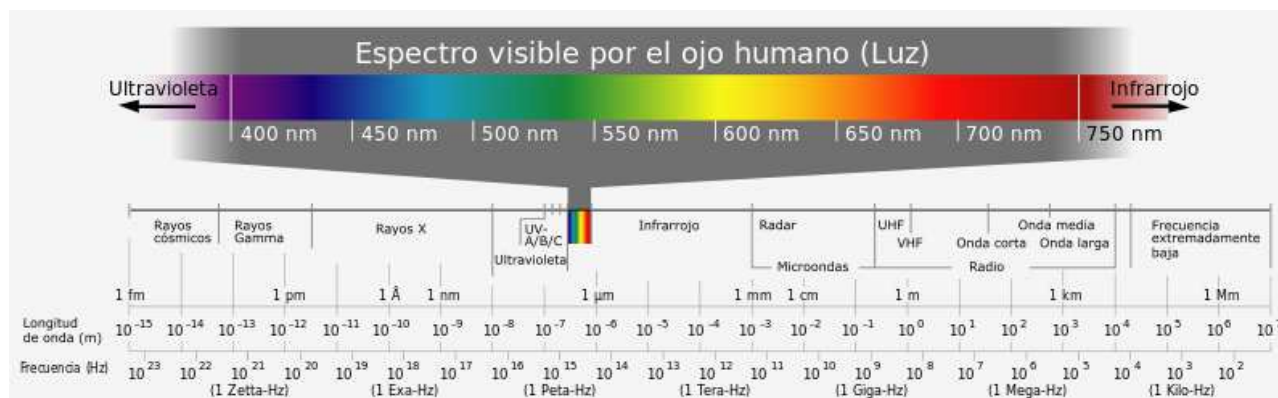


Figura 2.3-1: Espectro electromagnético^[25].

Esta concepción de la luz como partícula, se emplea al estudiar los fenómenos electromagnéticos a nivel atómico/subatómico. Sin embargo, en la gran mayoría de los casos, sobre todo en aquellos en los que interviene la *Metrología*, basta con utilizar la concepción de luz como onda^[15].

En este área, las propiedades de la luz pueden ser descritas por medio de la matemática del movimiento ondulatorio. Estas ecuaciones son capaces de explicar muchos de los procesos que se originan en la naturaleza, aunque éstos aparentemente, no guarden ningún tipo de relación entre sí^[23].

Una onda se origina por medio de una perturbación en alguna de las propiedades de un medio (*densidad, presión, campo eléctrico, campo magnético...*). En el caso de la luz, la perturbación se produce en el campo electromagnético^[23].

Los campos eléctrico y magnético al estar físicamente relacionados, varían de forma perpendicular entre sí y a su vez, tal y como se puede observar en la Figura 2.3-2, de forma ortogonal a la dirección de propagación de la onda^[24].

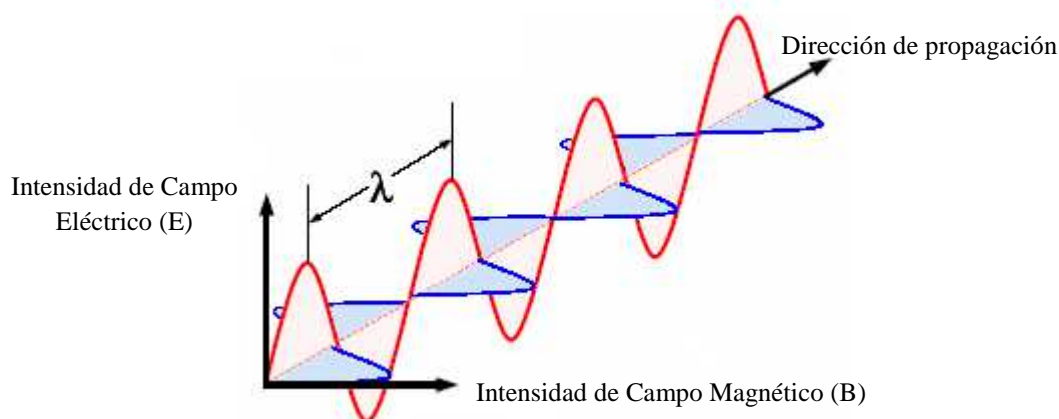


Figura 2.3-2: Onda electromagnética.

Aquí, nos centraremos en el campo eléctrico, teniendo en cuenta que si las oscilaciones de dicho campo están comprendidas en un mismo plano espacial, éstas pueden ser descritas por medio de la siguiente expresión (*solución general de la ecuación diferencial de onda tridimensional*)^{[23][24]}:

$$E(x, y, z, t) = \text{Re} \left[E_0 \cdot e^{j(\omega t - k \bar{r}(x, y, z) + \varepsilon)} \right] = E_0 \cdot \cos(\omega t - k \bar{r}(x, y, z) + \varepsilon)$$

Se puede apreciar, que la fase de la perturbación depende de tres parámetros:

- Fase Inicial (ε)
- Rapidez del cambio de fase con el tiempo ($\omega = 2\pi f$)
- Constante de propagación / Número de onda ($k = \omega/v = 2\pi/\lambda$)

Ya se ha citado con anterioridad, que la *Interferencia* es la base de la interferometría. Las ondas electromagnéticas son capaces de producir interferencias cuando se superponen al menos dos trenes de onda. Este fenómeno, es posible gracias al carácter lineal de la ecuación de onda. Por tanto, si existen dos o más soluciones, cualquier combinación de ellas será también solución de la ecuación^[23].

Suponiendo que las ondas incidentes se propagan en la misma dirección, y además se caracterizan por ser *Coherentes* y estar *Linealmente polarizadas*, la amplitud compleja de la onda resultante es igual a la suma de las amplitudes de las ondas incidentes^[24].

$$E = E_1 + E_2 = (E_{0,1} \cdot e^{-j\varphi_1} \cdot e^{j\omega t}) + (E_{0,2} \cdot e^{-j\varphi_2} \cdot e^{j\omega t})$$

A raíz de esta superposición, la intensidad de la onda resultante en cualquier punto dependerá de la diferencia de fase ($\Delta\varphi$) de las ondas incidentes.

$$I = |E|^2 = (E_1 + E_2) \cdot (E_1^* + E_2^*) = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cdot \cos(\Delta\varphi)$$

Donde ' E_1 ' y ' E_2 ' representan las intensidades de las dos ondas actuando por separado y ' $\Delta\varphi$ ' la diferencia de fase entre ellas. Como resultado, se obtiene un patrón de interferencia (*imagen*) cuya forma e intensidad dependerá del tipo de interacción que se esté produciendo entre ellas. Pero solo dentro del espectro visible (*rango comprendido entre los 380 y 760nm*), este patrón podrá ser percibido por el ojo humano^[24].

Aquí, si la diferencia de fase entre ambas ondas, es múltiplo impar de π radianes (180°), los valores máximos de una onda coinciden con los valores mínimos de la otra, resultando una **Interferencia Destructiva** (Ver Figura 2.3-3). Es decir, se obtiene una onda de menor amplitud, cuyo patrón de interferencia consiste en una *franja oscura*^[26].

En cambio, si la diferencia de fase es múltiplo par de π radianes (180°), entonces coinciden tanto los valores máximos como mínimos, resultando una **Interferencia Constructiva** (Ver Figura 2.3-3). Es decir, se obtiene una onda de mayor amplitud, cuyo patrón de interferencia consiste en una *franja clara*^[26].

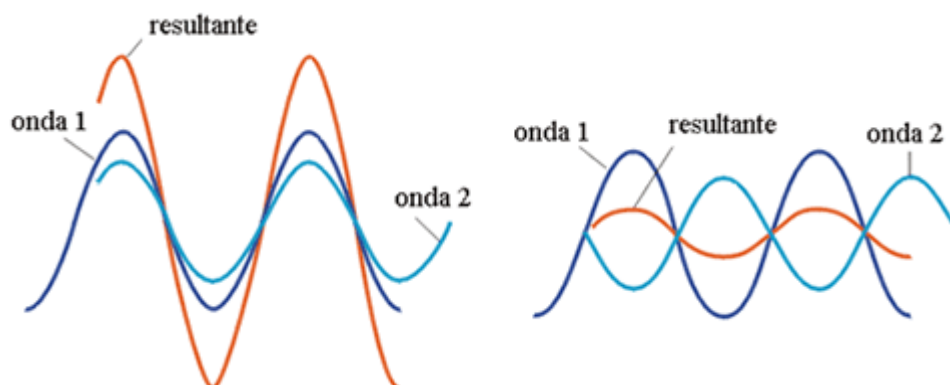


Figura 2.3-3: Interferencia de ondas: Constructiva [Izda.] y Destructiva [Dcha.]^[27].

El **Factor de Visibilidad** (V) es un parámetro indicativo del contraste que se puede alcanzar en el patrón de interferencia^[28]. Se define como:

$$V = \frac{I_M - I_m}{I_M + I_m}$$

Aquí, ' I_M ' e ' I_m ' representan las intensidades máxima y mínima respectivamente, en una distribución de interferencias. Si la intensidad mínima es nula ($I_m=0$), el contraste de las franjas pasa a ser máximo ($V=1$). En cambio, el resultado del aumento del valor de la intensidad mínima o la disminución de la intensidad máxima, se traduce en una pérdida de contraste gradual hasta el instante en el que no se aprecian interferencias ($I_M=I_m$ [$V=0$])^[28].

Durante el funcionamiento de una fuente de luz, tanto la amplitud como la fase del campo eléctrico exhiben fluctuaciones aleatorias muy rápidas. Se dice que una fuente de luz es **Coherente** cuando las variaciones del campo eléctrico en dos puntos cualesquiera de una superficie determinada están correladas. Esta propiedad está ligada a la cromaticidad de la fuente, ya que solo en una fuente monocromática ideal, las variaciones del campo eléctrico están completamente correladas. La coherencia repercute directamente en la visibilidad de los patrones de interferencia y se manifiesta espacial y temporalmente^[29].

La correlación entre el valor del campo eléctrico en un mismo punto en diferentes instantes de tiempo es la **Coherencia temporal**, y está relacionada con el ancho de banda espectral de la fuente. Cuanto más estrecho sea su espectro de emisión, menores serán las variaciones de longitud de onda y por tanto, se obtendrá una buena coherencia temporal. En el caso de un láser, al estar caracterizado por una alta monocromaticidad, tiene una coherencia casi perfecta^[29].

En cambio, la correlación entre el valor de campo eléctrico en dos puntos cualesquiera del frente de onda se conoce como medida de **Coherencia espacial**. Este factor, depende fundamentalmente del tamaño de la fuente (*puntual o extendida*), aunque también influye la divergencia del haz, ya que una iluminación difusa disminuye su coherencia^[29].

Se ha mencionado previamente que una de las condiciones que interviene en la interferencia de dos ondas, es que posean el mismo estado de **Polarización**. En una onda electromagnética no polarizada, el campo eléctrico oscila en todas las direcciones normales a la dirección de propagación de la onda. Al aplicar un elemento polarizador (Ver Figura 2.3-4), se logra que estas

oscilaciones estén comprendidas en un mismo plano espacial. Por tanto, dos ondas polarizadas ortogonalmente no pueden interferir debido a que sus vectores de campo son perpendiculares entre sí. Del mismo modo que dos ondas polarizadas circularmente en sentidos opuestos no pueden producir una interferencia. Por consiguiente, los haces implicados deben cumplir esta propiedad si se pretende obtener un buen contraste entre franjas^[29].

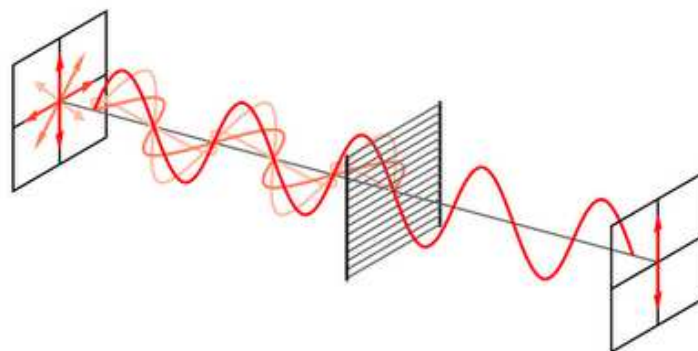


Figura 2.3-4: Onda linealmente polarizada^[30].

En resumen, dadas dos ondas que se propagan en la misma dirección y que van a interactuar, deben satisfacer una serie de condiciones, si se pretende obtener un patrón interferométrico estable y de alta visibilidad^[28]:

- Coherencia
- Mismo estado de polarización (*paralelismo entre campos eléctricos*)
- Misma amplitud

Cuando se verifica la primera condición, se consigue la estabilidad del patrón de interferencia. Si además se asegura el paralelismo de los campos, se puede observar claramente el comportamiento interferencial. Y si se cumple la última condición, se obtiene una imagen de contraste óptimo^[28].

2.4. Conclusiones.

A lo largo del capítulo 2, se han tratado los principios básicos de funcionamiento, necesidades y aplicaciones de los sistemas de instrumentación optoelectrónicos con sensores de fibra óptica. Aquí, uno de los componentes más importantes es la fuente de luz utilizada para iluminar el sistema, ya que un haz inestable puede llegar a perturbar las medidas realizadas.

Dentro de las fuentes de luz empleadas en estos sistemas, destacan los diodos láser por encima de otros dispositivos optoelectrónicos, gracias a las buenas propiedades del haz de emisión y a su eficiencia. Características, que hacen que estos componentes sean empleados frecuentemente en aplicaciones interferométricas.

Sin embargo, estos dispositivos son susceptibles a los cambios de temperatura, provocados principalmente por el calentamiento del propio '*LD*', o por fluctuaciones de la temperatura del entorno. Para minimizar este efecto se pretende utilizar en su excitación, un circuito de acondicionamiento para diodos láser basado en una solución '*ASIC*', que contribuya de forma automática a la regulación y estabilización de la potencia óptica emitida, y además proporcione medidas de seguridad ante '*ESD*', ante transitorios o picos de corriente, y ante niveles excesivos de corriente.

Capítulo 3. Diseño de una fuente estabilizadora para diodos láser.

3.1. *Introducción.*

Al describir las propiedades de los diodos láser en el capítulo 2, se ha hecho hincapié en las desventajas que presentan. Entre ellas, se encuentra por un lado el hecho de que son sensibles transitorios y niveles excesivos de corriente. Por otro, que el haz de salida presenta una alta divergencia (θ), aunque este inconveniente se corrige habitualmente incorporando una serie de componentes ópticos al encapsulado del diodo láser. Y por último, cabe destacar la influencia de la temperatura sobre sus propiedades eléctricas.

Para evitar que los diodos láser no estén nunca expuestos a variaciones bruscas de corriente o excesivas corrientes de operación, se utilizan dos circuitos electrónicos de excitación para operar con ellos. Se puede, o bien alimentarlos en lazo abierto por medio de una fuente de corriente constante, o utilizar un circuito de control en lazo cerrado implementado por medio de componentes discretos o embebido en un integrado. Eso sí, siempre es importante tratar de mantener la temperatura del dispositivo lo más estable posible, con la ayuda del uso de disipadores o dispositivos refrigeradores internos (*coolers*)^{[31][32]}.

En el caso de la excitación por medio de una fuente de corriente constante, si la temperatura no se encuentra controlada, la potencia óptica emitida por el diodo láser sufrirá fluctuaciones sin que el circuito actúe para compensarlas. Hecho, que repercute directamente en la estabilidad del haz.

En cambio, al utilizar un circuito de control en lazo cerrado, no solo es posible regular la potencia óptica emitida, sino que el circuito es capaz de compensar pequeñas desviaciones de la misma. Pero, al igual que con la fuente de corriente, si no se controla la temperatura del diodo láser, pasará a consumir cada vez más corriente hasta llegar a un nivel que pueda ser perjudicial para el dispositivo.

Por tanto, el propósito del proyecto se centra en el diseño de un circuito de control basado en una solución 'ASIC', que contribuya tanto a la protección del diodo láser, como a la estabilización de su emisión.

3.2. *Solución propuesta. Circuito de acondicionamiento para el emisor.*

3.2.1. Justificación y requisitos del diseño.

Dentro del mercado de los diodos láser, existe una amplia gama de dispositivos. Esta diversidad se centra sobre todo su potencia óptica de emisión, y en los distintos encapsulados y configuraciones en que son presentados. Hecho, que supone una gran dificultad durante la búsqueda de un circuito de control, ya que por ejemplo, un diodo láser puede consumir del orden de 60mA y presentar tres terminales de conexión (*Ver Figura 2.1-2*), y otro similar, puede consumir unos 130mA, y no disponer de fotodiodo monitor interno para cerrar el lazo de realimentación del controlador, lo que implica solo dos terminales de conexión.

Adicionalmente, existe también una gran variedad de circuitos de control disponibles en el mercado. Un primer aspecto a tener en cuenta para acotar la búsqueda, es que el diodo láser a utilizar operará de forma continua (*CW*). Por tanto, se pueden descartar todos los drivers y módulos basados en corriente pulsada (*alterna*).

Como ya se ha comentado en la introducción de este capítulo, las dos formas apropiadas de excitar un diodo láser se basan, o bien en la alimentación por medio de una fuente de corriente constante, o utilizar un circuito de control en lazo cerrado. En ambos casos, la temperatura del dispositivo debe mantenerse dentro un rango determinado, si se pretende alcanzar una buena estabilidad de la potencia óptica emitida. Pero, en el caso del circuito de control es posible compensar pequeñas fluctuaciones de la misma, haciendo que esta opción sea la más indicada^{[31][32]}.

En este caso particular, se necesita que la solución propuesta cumpla con las siguientes condiciones:

- Alcance una estabilidad cuyas desviaciones no superen el 2,5%
- Económico
- Dotado de sistemas de protección
- Versatilidad ante la conexión de distintos tipos de diodos láser (*Ver Tabla 3.2.1-1*)
- Posibilidad de incorporar modulación en corriente

Los dos modelos de láser citados en la Tabla 3.2.1-1, se corresponden con los dispositivos disponibles para verificar la funcionalidad del sistema diseñado. Según sus características, el diodo láser es adecuado para sistema de instrumentación con sensores de fibra basados en modulación de intensidad, mientras que el '*DPSS*' lo es para sistemas basados en modulación de fase.

Modelo	Hitachi HLG6501MG	DPSS
Longitud de onda	658nm (<i>Rojo</i>)	532nm (<i>Verde</i>)
Terminales de conexión	3	2
Topología interna	Tipo ' <i>P</i> '	Diodo láser
Potencia máxima	35mW	10mW
Punto de operación	80mA - 5mW (<i>Ver ap. 3.2.2</i>)	210mA - 5mW (<i>Ver ap. 3.2.3</i>)
Modo de operación	Continua (<i>CW</i>)	Continua (<i>CW</i>)

Tabla 3.2.1-1: Diodos láser disponibles para el desarrollo del proyecto.

Otra alternativa a tener en cuenta, en este caso referente a los circuitos de control en lazo cerrado, se centra en su implementación. Por un lado, estos pueden ser diseñados partiendo de componentes discretos, o su diseño puede estar basado en un circuito integrado. En ambos casos, se obtiene un controlador cuya funcionalidad ha de valorarse para cada caso particular. Uno de los principales factores en la toma de esta decisión suele ser el coste. Sin embargo, en el problema que se intenta abordar, es necesario estudiar en profundidad las propiedades del sistema antes de decantarse por una u otra opción^[33].

La Figura 3.2.1-1 muestra un posible circuito discreto de control en '*DC*', cuyo conexionado se ha particularizado para un diodo láser tipo '*N*'. En este caso, el control de potencia óptica se consigue a través de 17 componentes pasivos, un transistor *BD139*, un diodo zener y un integrado *LM358* con dos amplificadores operacionales (*AO*), que pueden ser alimentados dentro del rango comprendido entre los 6V y 12V^[33].

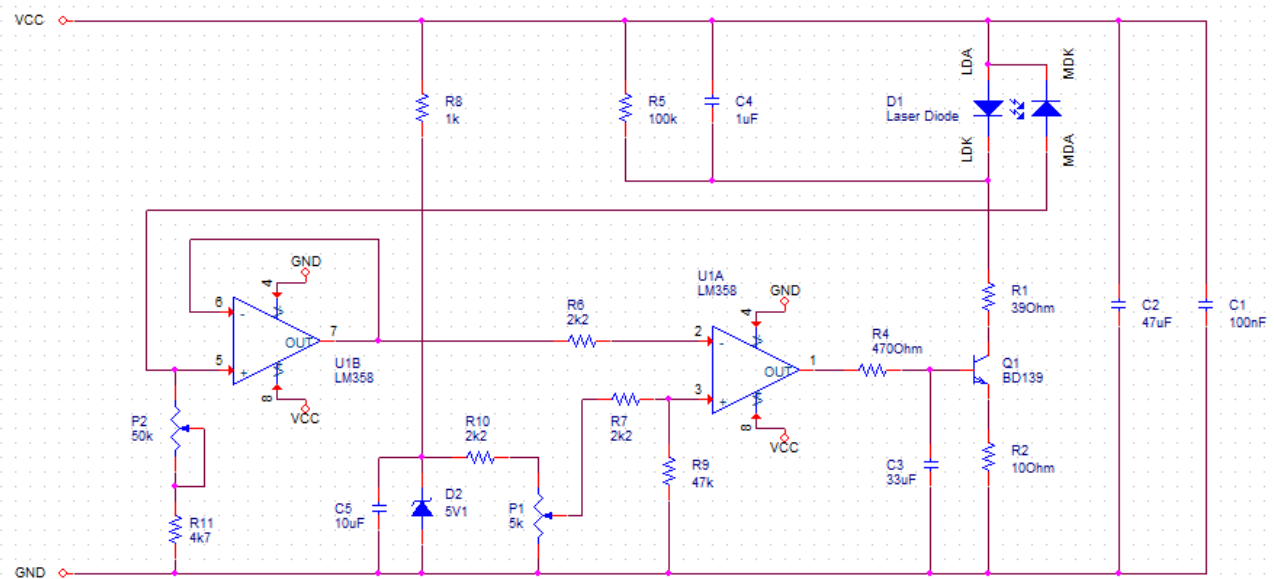


Figura 3.2.1-1: Esquemático con componentes discretos^[33].

Comenzaremos a describir su funcionamiento por la parte más compleja: la *realimentación del circuito*. Está formada principalmente por dos amplificadores operacionales embebidos en el integrado LM358. El primero de ellos (U1B), es un seguidor de tensión. La tensión a su salida va a depender de la corriente que circule por el fotodiodo monitor del láser (*proporcional a la potencia óptica que reciba*) y del valor del potenciómetro 'P2'. De este modo:

$$V_{OUT(U1B)} = I_{MDA} \cdot (R_{P2} + 4,7k\Omega)$$

Esta tensión, es comparada posteriormente en el amplificador 'U1A'. Aquí, la tensión de referencia se regula a través del potenciómetro 'P1'. Teniendo en cuenta que el circuito de referencia está alimentado a 5,1V (*diodo zener*), el rango de la tensión de referencia se encuentra entre:

$$V_{min(U1A)}^{+}[R_{P1} = 0\Omega] = 5,1V \cdot \left(\frac{R_{P1}}{(2,2k\Omega + R_{P1})} \right) \cdot \left(\frac{47k\Omega}{(47k\Omega + 2,2k\Omega)} \right) = 0V$$

$$V_{max(U1A)}^{+}[R_{P1} = 5k\Omega] = 5,1V \cdot \left(\frac{R_{P1}}{(2,2k\Omega + R_{P1})} \right) \cdot \left(\frac{47k\Omega}{(47k\Omega + 2,2k\Omega)} \right) = 3,38V$$

Por tanto, dependiendo del valor de tensión de cada una sus entradas ($V+$ y $V-$), el amplificador 'U1A' actuará sobre el transistor BD139, haciéndole conmutar entre corte y conducción. Esta conmutación, afecta directamente a la emisión del diodo láser, ya que el circuito tenderá a igualar ambas tensiones o bien suministrando más corriente al diodo, o impidiendo la circulación de la misma. Así, se establece la potencia de operación.

Al margen del circuito de realimentación, los condensadores 'C1', 'C2' y 'C4' se encargan de proporcionar al diodo láser un arranque controlado, evitando así que sea dañado por los transitorios de corriente vinculados a los encendidos y apagados del controlador. Cabe destacar nuevamente, que el circuito discreto representado en la Figura 3.2.1-1, no deja de ser un posible circuito de control de potencia óptica dentro de muchas posibilidades. Ya que, simplemente cambiando algún componente, podemos hacer que el rango de alimentación varíe, o bien dimensionarlo para una circulación de corriente más elevada.

La otra opción, se basa en la utilización de un circuito integrado de aplicación específica (*ASIC*) cuya funcionalidad sea similar a la descrita para el caso anterior. Estos, a pesar de ser más costosos, permiten una reducción del número de componentes utilizados, que implica a su vez una disminución del tamaño del circuito. Entre todos los dispositivos disponibles en el mercado, han sido seleccionados dos integrados por su versatilidad y bajo coste:

- *ADN2830* de la compañía Analog Devices^[34]
- *iC-WK/WKL* o *iC-WKN* de la compañía iC-Haus (*Ver Anexos A y B*)

La aplicación específica de estos integrados, se centra en el control de la potencia media (*APC*) emitida por los diodos láser. Ambos, operan dentro de un régimen de funcionamiento continuo, y se caracterizan por compensar de modo automático las pequeñas desviaciones de potencia óptica que se produzcan. Sin embargo, presentan ligeras diferencias en cuanto a los diodos láser que son capaces de controlar. A continuación, en la Tabla 3.2.1-2 se detallan algunas de sus principales propiedades:

Modelo	iC-WK/WKL	iC-WKN	ADN2830
Precio	7,25€	7,25€	12,97€
$V_{alimentación}$	2,4V - 6V	2,4V - 15V	5V
$I_{control_max}$	90mA (<i>ampliable</i>)	300mA	200mA (<i>ampliable</i>)
Estabilidad	<1,5%	<1,5%	-----
Propiedades adicionales	Arranque controlado Protecciones Modulación corriente	Arranque controlado Protecciones Modulación corriente	Arranque controlado Protecciones Alarmas degradación

Tabla 3.2.1-2: Comparativa entre los *ASICs* seleccionados.

Las diferencias en cuanto al rango de operación ($V_{alimentación}$ e $I_{control_max}$) no constituyen una razón clara de discriminación entre uno u otro, ya que en los casos más restrictivos, es posible ampliarlos por medio de circuitos externos de adaptación. Por tanto, es preciso acudir a otras propiedades para seleccionar la opción más adecuada.

El controlador *ADN2830* además de presentar un sistema de regulación más completo, está dotado de diversas alarmas visuales que avisan de la degradación progresiva que sufre el diodo láser. Esta opción, resulta ser más compleja de utilizar y menos económica que en los otros casos. Razones por las que finalmente se seleccionan, o bien el integrado *iC-WK/WKL* o el *iC-WKN*. Además, con ellos se logra una desviación inferior al **1,5%** respecto a la potencia óptica media, lo que supone un nivel de estabilidad apropiado para estos sistemas de instrumentación con sensores de fibra.

Ambos, poseen la misma estructura física y difieren levemente en su comportamiento eléctrico. De aquí, se puede destacar la tensión de alimentación y la corriente que son capaces de controlar. El rango de alimentación varía de 2,4 a 6V_{DC} y de 2,4 a 15V_{DC} respectivamente, mientras que las corrientes máximas de regulación alcanzan un valor aproximado de 90mA y 300mA respectivamente (*Ver Anexos A y B*). En la Figura 3.2.1-2, se muestra de forma resumida el diagrama de bloques interno del integrado *iC-WKN*, que coincide casi en su totalidad con el del integrado *iC-WK/WKL*. Además, en esta imagen se detalla tanto la ubicación, como el papel que desempeñan los componentes externos necesarios para su correcto funcionamiento.

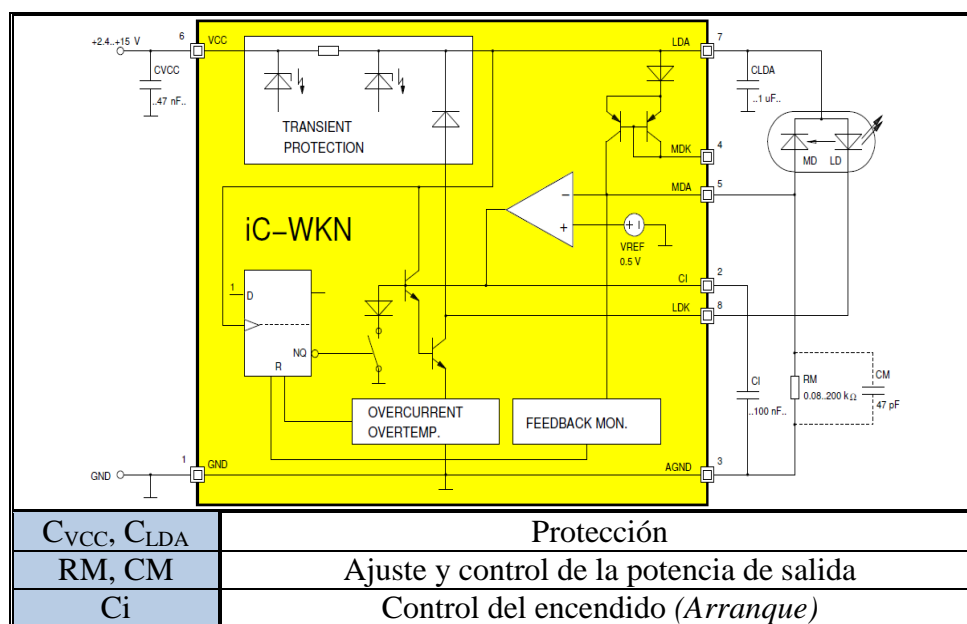


Figura 3.2.1-2: Diagrama de bloques (iC-WKN) ^[Anexo B].

La funcionalidad del integrado se asemeja en gran medida al circuito discreto propuesto con anterioridad. En este caso, la corriente de realimentación se aplica directamente sobre la resistencia 'RM', estableciendo así la siguiente relación:

$$V_{MDA} = I_{MDA} \cdot (RM)$$

Este nivel de tensión, es comparado internamente con una tensión de referencia de 0,5V. El resultado de la comparación, es aplicado a un transistor al igual que en el caso anterior. De modo que, el dispositivo de control demanda corriente a la fuente de alimentación y se la entrega al diodo láser, hasta que la tensión en el pin 'MDA' sea 0,5V, instante en el cual se alcanza el nivel de potencia óptica de operación. De forma global, el sistema de control funciona oponiéndose a las variaciones de corriente que experimenta el diodo láser. Es decir, si se da el caso de que una perturbación afectase a la potencia óptica emitida, el fotodiodo monitor, al detectar este cambio, provoca que el circuito de control actúe reduciendo o aumentando (*según el caso*) la corriente que le suministra, hasta alcanzar nuevamente la situación de equilibrio del sistema.

Una de las propiedades que presentan estos dos integrados, es el control de arranque/apagado a través del condensador 'Ci'. Su tiempo de carga y descarga, provoca que la circulación de corriente por el diodo láser aumente/disminuya progresivamente, a partir del momento en que la tensión de alimentación es modificada. De este modo, se evitan los transitorios de corriente no deseados derivados de la variación brusca en la tensión de alimentación.

Al margen de sus características como circuito de control, estos dispositivos están dotados de una serie de propiedades adicionales que marcan la diferencia en la comparativa que se está realizando:

- Protección contra polarización inversa
- Apagado permanente ante exceso de corriente, temperatura o 'ESD'
- Protección ante transitorios
- Posibilidad de incorporar modulación en corriente

A menudo, se obvia que en la mayor parte de los casos, la parte más costosa de un sensor de fibra óptica es la fuente de iluminación. Por tanto, a pesar de su mayor coste, la inversión realizada en el circuito integrado es rentable, valorando que su funcionalidad supera con creces a la opción discreta^[33].

3.2.2. Caso genérico: Diodo láser con fotodiodo monitor integrado.

El esquemático de la Figura 3.2.1-2 representa el conexionado externo del circuito de control particularizado para un láser tipo 'N', donde el ánodo del diodo láser se encuentra cortocircuitado con el cátodo del fotodiodo monitor. En cualquier caso, el integrado es compatible con cualquiera de las configuraciones de 'LD' que presentan tres terminales de conexión (Ver Figura 2.1-2). A continuación, en la Figura 3.2.2-1 se muestran las ligeras diferencias de conexionado para cada una de estas tres posibilidades.

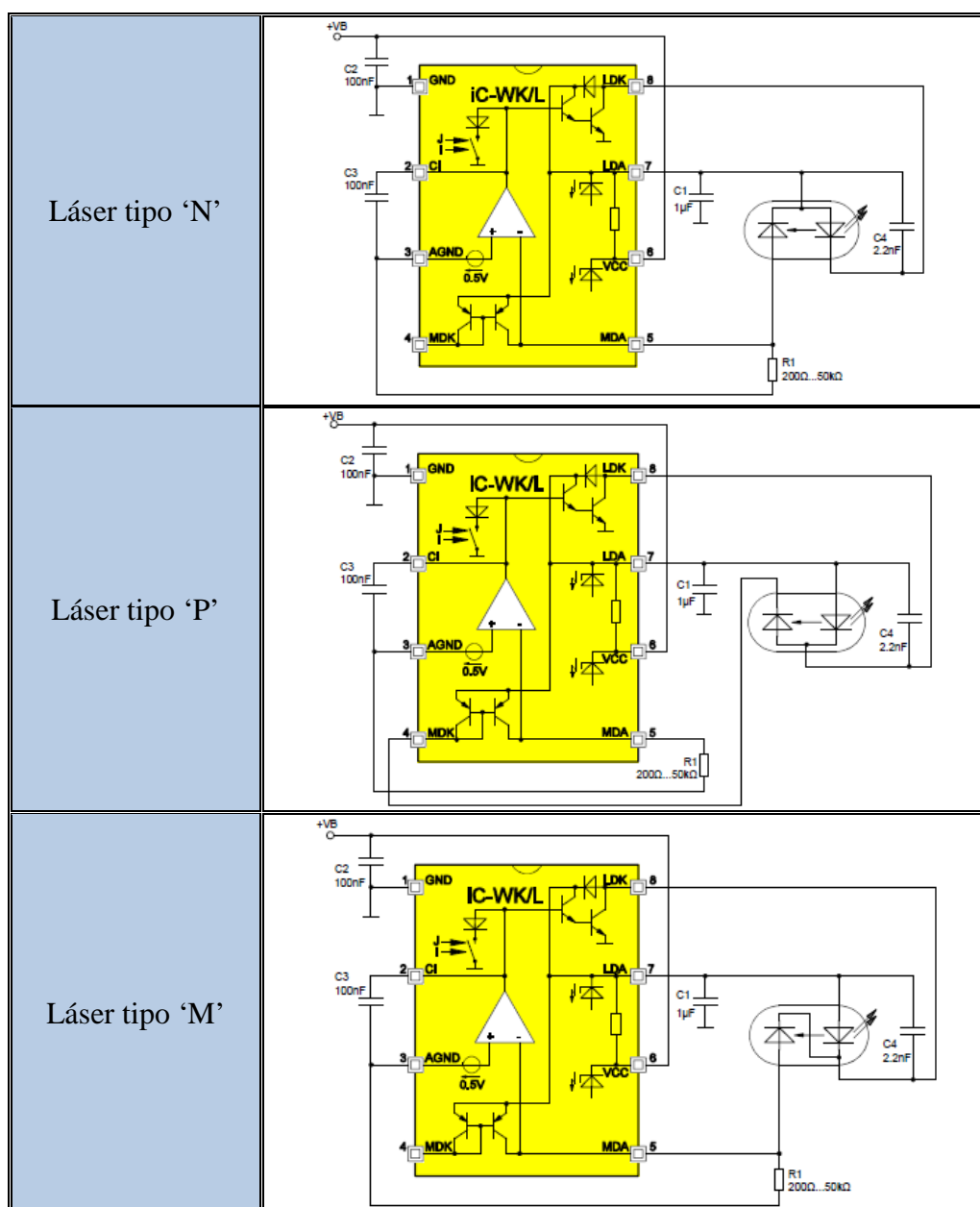


Figura 3.2.2-1: Conexiones del integrado particularizadas para distintas configuraciones^[35].

Esto, es posible debido a que el integrado presenta dos pines para la entrada de la corriente de monitorización: 'MDK' y 'MDA'. De este modo, dependiendo de la configuración del dispositivo láser, si el terminal libre del fotodiodo es el ánodo, éste se conectará al pin 'MDA', y en caso contrario al 'MDK'.

Ambos pines del integrado 'iC', están conectados internamente a un espejo de corriente de manera que, una variación de corriente en uno de los pines repercute en el otro. Esto permite, tanto la incorporación de una modulación en corriente, como poder conectar cualquiera de las configuraciones antes mencionadas^[35].

Por tanto, estas tres configuraciones constituyen el 'caso genérico' del driver de control. Situación, en la que el circuito cumple con las propiedades especificadas en sus hojas de características (Ver Anexos A y B).

Experimentalmente, dentro del caso genérico establecido, se dispone del diodo láser 'Hitachi HLG6501MG' para verificar las propiedades del circuito de control implementado. Se caracteriza principalmente por tratarse de una configuración tipo 'P', y por emitir un haz de luz rojo cuya longitud de onda (λ_{typ}) y potencia óptica máxima (P_{op_max}) son 658nm y 35mW respectivamente.

Una vez analizadas las hojas de características de este dispositivo, recogidas en el Anexo C, se decide establecer el punto de operación del diodo láser en **80mA**. Acudiendo a la curva característica '*Potencia óptica [P_{op}] vs. Corriente directa [I_F]*' del diodo a 60°C (*temperatura de operación aproximada*) obtenemos que esta corriente definida corresponde a una potencia óptica de **5mW**.

Con estos dos parámetros queda perfectamente definido el punto de trabajo del diodo láser. Ahora bien, a partir de la potencia óptica de operación, se puede calcular la corriente de monitorización que se va a obtener, utilizando otra de las curvas características de las hojas. En este caso, la curva que relaciona '*Corriente de monitorización [I_S] vs. Potencia óptica [P_{op}]*' a 25°C. La temperatura de la curva no coincide con la de operación del diodo láser, pero es válida como aproximación. Se obtiene para este caso una corriente de monitorización en torno a **0,03mA**.

Así, se puede conocer a priori de un modo aproximado la resistencia de monitorización (RM) necesaria para que el diodo láser opere bajo las condiciones definidas, cuando este sea conectado al driver de control diseñado.

$$RM = V_{MDA} / I_{MDA} = 0,5V / I_S = 0,5V / 0,03mA = 16,67k\Omega$$

3.2.3. Caso especial: Diodo láser sin fotodiodo monitor integrado.

Adicionalmente a las tres configuraciones mencionadas en el apartado anterior, podemos encontrar en mercado diodos láser que **no presentan fotodiodo monitor interno**. Este hecho, obliga a cerrar el lazo de realimentación de forma externa si se quiere conectar el 'LD' al circuito de control diseñado. Se puede utilizar un circuito sencillo como el indicado en la Figura 3.2.3-1 o utilizar otro circuito de acondicionamiento más completo.

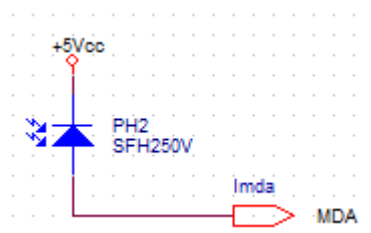


Figura 3.2.3-1: Posible circuito para cerrar externamente la realimentación del sistema.

Por tanto, se considera a esta situación como '*caso especial*', ya que favorece la aparición de incompatibilidades entre el circuito de control y el diodo láser.

Según la experiencia de los diseñadores/fabricantes, el integrado utilizado en este proyecto puede presentar oscilaciones según el caso, ante valores de resistencia de monitorización (RM) superiores a $25k\Omega$, lo que equivale a un bajo nivel de corriente de realimentación (I_{MDA}). Una posible solución propuesta para conseguir eliminar dicha oscilación en caso de manifestarse, se basa en incrementar el valor del condensador ' C_i ' para modificar la respuesta en frecuencia del sistema realimentado, pudiendo alcanzar así una situación estable^[36].

En este caso especial, cerrar el lazo de control de forma externa puede afectar negativamente a la funcionalidad del driver. Ya que, dependiendo del comportamiento del diodo láser al que esté conectado, y de la capacidad y velocidad de respuesta del fotodiodo utilizado, puede ocurrir que en caso de presentarse oscilaciones durante su funcionamiento, éstas no puedan ser eliminadas simplemente aumentando la capacidad del condensador ' C_i '.

Si esto ocurre, la realimentación externa realizada no da como resultado un sistema de control válido, puesto que estas oscilaciones perturbarán las medidas que se realicen. De modo que, es necesario presentar una alternativa que solucione este inconveniente.

Se propone utilizar en este caso, un circuito electrónico externo de adaptación a fuente de corriente constante para el driver. Este circuito, desarrollado tomando como idea inicial el circuito booster aplicado al integrado *iC-WK/WKL* para aumentar su corriente máxima de operación, se detalla en la Figura 3.2.3-2.

Tal y como indica esta figura, para este caso especial se cuenta con un láser '*DPSS*', cuya longitud de onda se sitúa en los $532nm$ (*Verde*). Al no disponer de sus hojas de características, es necesario realizar una caracterización del mismo, cuyos resultados se adjuntan en el Anexo D.

Visto esto, se decide establecer en este caso la corriente de operación del láser '*DPSS*' en **$210mA$** . Punto de trabajo, que según la curva característica obtenida, implica que la potencia óptica que va a emitir este diodo láser se sitúa en torno a los **$5mW$** .

Al adaptar el circuito de control a fuente de corriente constante, no se dispone de resistencia de monitorización (RM) para fijar el punto de operación del dispositivo. En su lugar, la corriente se consigue aprovechando la tensión ' MDA ' del driver, que como hemos indicado con anterioridad, toma un valor constante de $0,5V$.

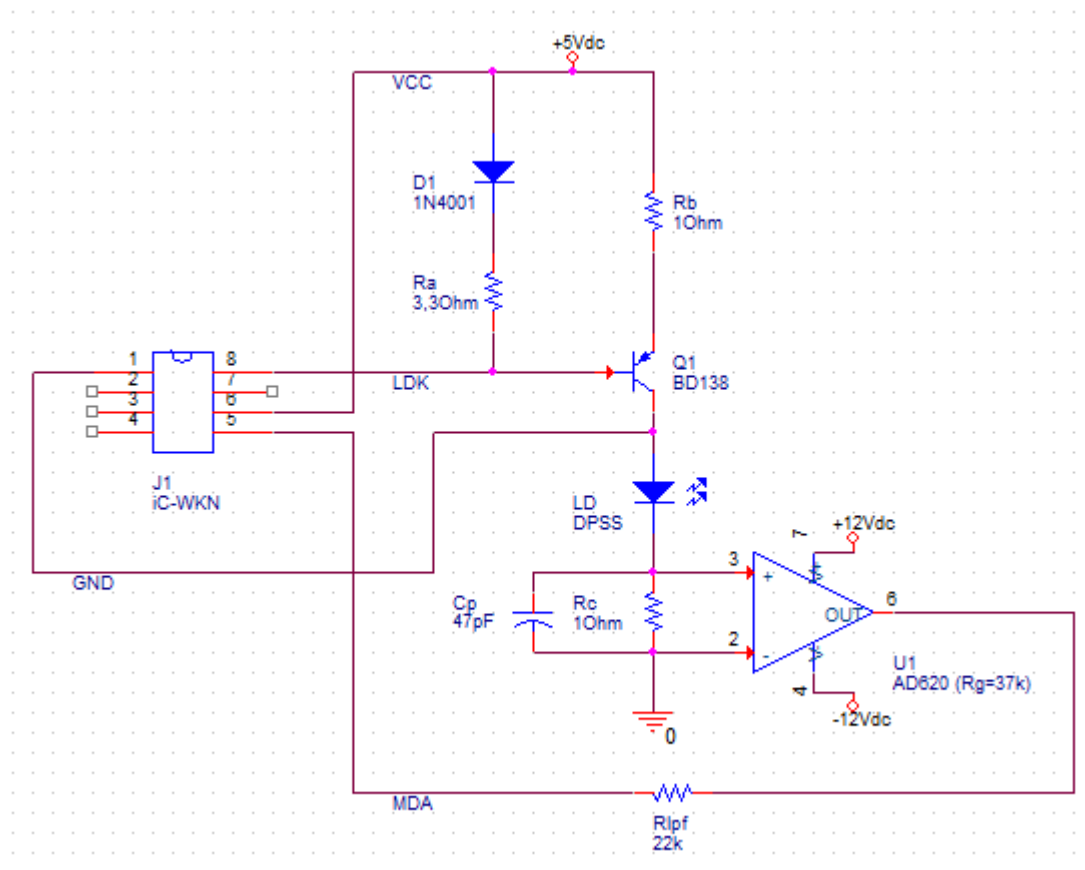


Figura 3.2.3-2: Circuito de adaptación a fuente de corriente constante.

Esta tensión, se corresponde con la tensión de salida de un sistema de amplificación constituido por el amplificador de instrumentación AD620, que sensa la caída de tensión en la resistencia ' R_c '. Cabe indicar, que en este caso los 0,5V de ' MDA ' están referidos a la tierra analógica del circuito (AGND [pin 3 del driver]), por lo que se debe conectar a este punto la referencia (pin 5) del amplificador utilizado. Una vez realizada esta importante conexión, y utilizando como resistencia de amplificación (R_G) de 37k Ω (medidos 36,7k Ω) obtenemos:

$$I_{DPSS} = I_{R_c} = \frac{V_{R_c}}{R_c} = \frac{V_{MDA}/G}{1\Omega} = \frac{V_{MDA}/((49,4k\Omega/R_G)+1)}{1\Omega} = \frac{0,5V/((49,4k\Omega/36,7k\Omega)+1)}{1\Omega} = 213mA$$

Esta corriente se reparte aguas arriba a través de las resistencias ' R_a ' y ' R_b ', entre la corriente que alimenta al driver de control y la que soporta el transistor ' $Q1$ '. Aquí, la función del diodo ' $D1$ ' es compensar la caída de tensión ' V_{EB} ' del transistor, de manera que así se provoca que la caída de tensión en ambas resistencias sea prácticamente la misma. De este modo, a través su relación de impedancias ' R_b/R_a ' se fija este reparto de corriente.

En este caso, al tratarse de una relación 1 Ω /3,3 Ω se consigue una corriente de **65mA** para alimentar el integrado. Con ella circulando a través del terminal ' LDK ', se consigue simular la conexión de un diodo láser para lograr que el driver estabilice los 0,5V en su terminal.

Cabe destacar, que la estabilidad de emisión que se obtiene al utilizar este adaptador empeora, dado que aunque estamos polarizando el láser con una corriente constante, no se dispone de un lazo de cerrado de control que pueda corregir las pequeñas desviaciones que sufre.

3.3. Diseño eléctrico del circuito.

Teniendo en cuenta toda la discusión desarrollada en el apartado 3.2, se realiza el diseño del circuito de control tomando como punto de partida el esquema mostrado en la Figura 3.2.1-2. Para ello, se utiliza la aplicación de diseño electrónico de CADENCE, *OrCAD Capture v.16*, por tratarse de una herramienta conocida con anterioridad^[37].

La única novedad que presenta este circuito básico con respecto al mostrado en la Figura 3.2.1-2, se localiza en el control de potencia. Como se puede observar, la Figura 3.3-1 muestra tres símbolos resistivos denominados como 'RM' (fijo), y 'PM' y 'P1' (variables). Su finalidad, es permitir en la tarjeta de circuito impreso, el conexionado de los distintos componentes de manera independiente. Es decir, se conecta únicamente la resistencia variable 'P1' en pruebas de caracterización, y la combinación de resistencia 'RM' y potenciómetro 'PM', una vez se conozca potencia de operación. En este último caso, con la resistencia se fija la máxima potencia de salida, y el potenciómetro permite un ajuste fino.

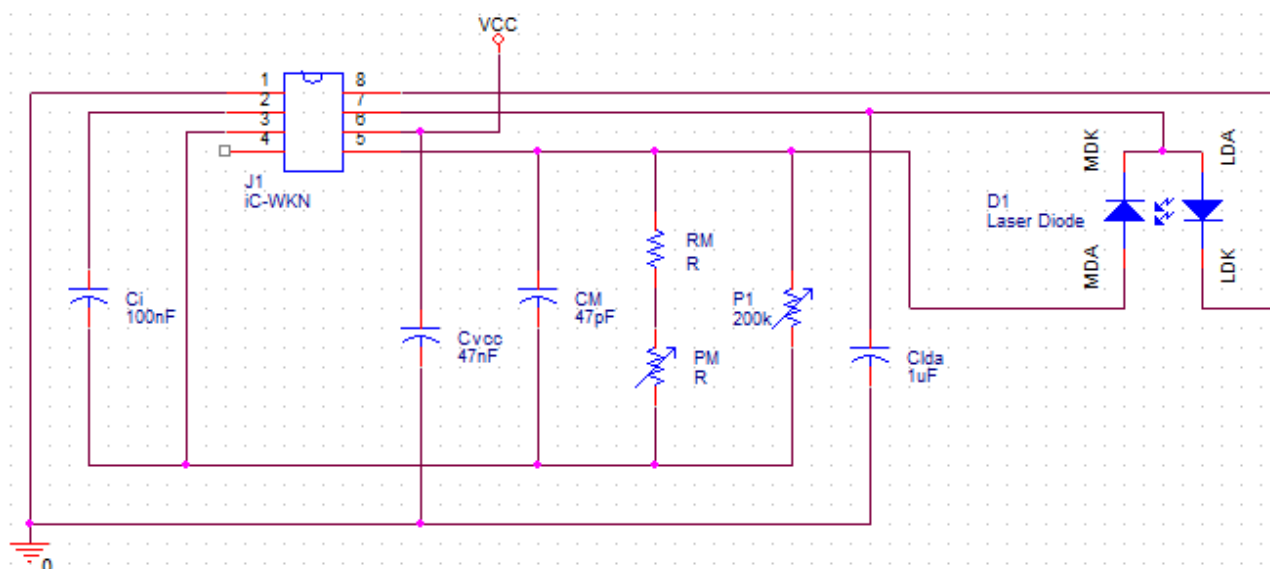


Figura 3.3-1: Esquemático integrado básico particularizado para un láser tipo 'N'.

Teniendo en cuenta la advertencia del fabricante (Ver Anexo A o B, página 2), los dos pines de referencia del dispositivo 'GND' (pin 1) y 'AGND' (pin 3) no deben ser cortocircuitados externamente para no alterar el correcto funcionamiento del driver.

Los dos integrados que han sido seleccionados como driver de control, son totalmente compatibles físicamente pero no funcionalmente. Ya que, aunque su método de control es idéntico, sus márgenes de operación no lo son. Teniendo en cuenta estos parámetros, nos decantamos por el integrado *iC-WKN*, dado que sus rangos permiten disponer de un cierto margen de operación. Aun así, es posible aumentar la corriente máxima que es capaz de controlar el modelo *iC-WK/WKL*, incorporándole un circuito externo de potencia como el de la Figura 3.3-2^[35].

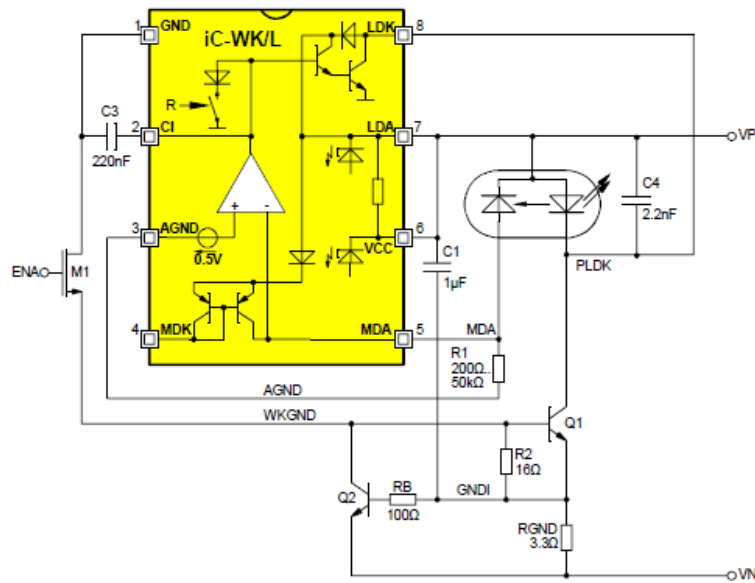


Figura 3.3-2: Diagrama de bloques *iC-WK/WKL* con booster incorporado^[35].

La primera precaución que hay que considerar, es que el dispositivo *iC-WK/WKL* está dimensionado para soportar una corriente máxima de 90mA (Ver Anexo A). Por tanto, es necesario cortocircuitar externamente los pines 6 (VCC) y 7 (LDA) del integrado, para evitar que la corriente de operación establecida (*superior a 90mA*), active el circuito de protección al circular por esa línea.

Inicialmente, al alimentar el circuito, una pequeña porción de la corriente (*inferior a 90mA*) entra al dispositivo por el pin 8 (LDK), y sale por el pin 1 (GND) con el objetivo de activar el circuito de potencia. Según el circuito de la Figura 3.3-2, el valor de esta corriente va a depender de la tensión base-emisor del transistor '*Q1*', y del valor de la resistencia '*R2*':

$$I_{ON} = V_{BE}(Q1)/R2$$

En el instante en que la corriente demandada por el láser supere el valor establecido (I_{ON}), el transistor '*Q1*' pasará a conducir, soportando el resto de corriente hasta alcanzar el valor de operación. Esta corriente, se regula tal y como se ha explicado con anterioridad, ya que el sistema de regulación no se modifica. Con ello, se consigue que el integrado no esté expuesto en ningún momento a corrientes superiores a su límite de operación.

Al haber inhabilitado la protección de sobrecorriente por medio del cortocircuito externo, es necesario implementar un sistema que actúe como tal. En el circuito de potencia, la corriente máxima se fija a través de la resistencia '*RGND*' y del transistor '*Q2*':

$$I_{MAX} = V_{BE}(Q2)/RGND$$

Tomando como punto de partida el circuito de potencia externo de la Figura 3.3-2, se realiza el diseño de un circuito que permita poder utilizar el integrado *iC-WK/WKL* como tal, y además poder activar en caso de ser necesario el circuito booster. El resultado se muestra en la Figura 3.3-3.

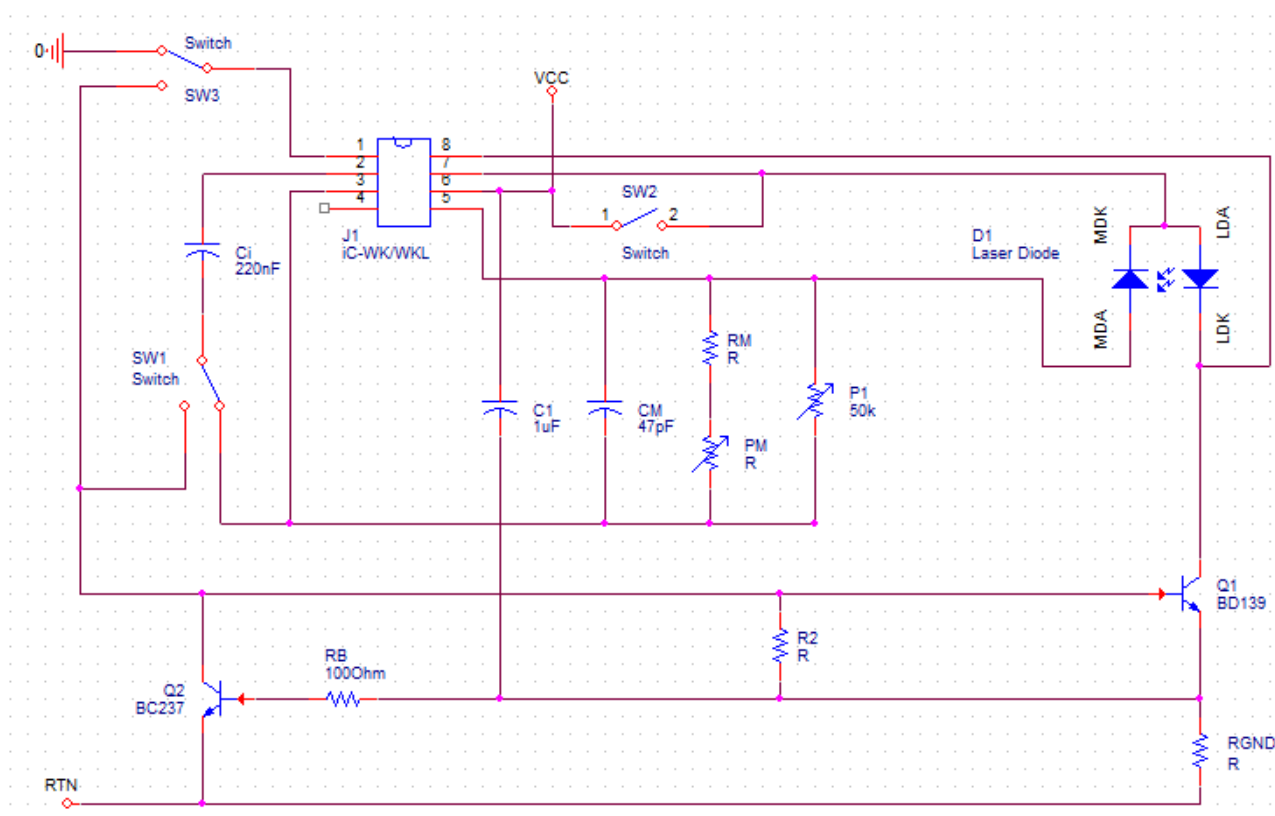


Figura 3.3-3: Esquemático integrado con booster incorporado.

La novedad que presenta este diseño son los tres interruptores: ‘SW1’, ‘SW2’ y ‘SW3’. Con ellos, se pretende adaptar el circuito de control para que pueda operar de forma nominal, y además activar el circuito de potencia en caso de ser necesario. El interruptor ‘SW2’ realiza el cortocircuito externo que inhabilita la protección de la línea de alimentación, y evita el paso de un exceso de corriente por el driver. El ‘SW1’, permite o bien conectar el terminal negativo del condensador ‘Ci’ al pin 3 (AGND) para un funcionamiento nominal, o conectar este terminal al pin 1 (GND). Por último, el interruptor ‘SW3’, es el encargado de activar/desactivar el circuito de potencia. En una posición cierra el lazo que conecta el pin 1 con el condensador ‘Ci’ (a través del interruptor ‘SW1’) y con el circuito de potencia, y en la otra (mostrada en la Figura 3.3-3), conecta el pin 1 del driver con la masa de la alimentación.

Cabe aclarar, que la Figura 3.3-3 refleja la posición de los tres interruptores para que el driver opere de forma nominal. Para activar el booster, basta con cambiar la posición de los tres interruptores antes de alimentar el circuito.

Por otro lado, se seleccionan los transistores *BD139* y *BC237* como ‘Q1’ y ‘Q2’ respectivamente. El primero de ellos, según sus características, presenta como límite de corriente de colector un valor de 1,5A. De este modo, se dispone de un margen de seguridad, ya existen pocos diodos láser en el mercado que operen con ese nivel de corriente. En cambio, como transistor ‘Q2’, se elige uno de propósito general en baja señal, ya que solo debe soportar la circulación de la corriente ‘ I_{ON} ’, que se caracteriza por ser inferior a 80mA. Acudiendo a sus hojas de características, se puede conocer sus tensiones base-emisor, y de este modo obtener de un modo aproximado, el valor resistivo necesario para obtener las corrientes ‘ I_{ON} ’ e ‘ I_{MAX} ’ del circuito de potencia. La Tabla 3.3-1 y la Tabla 3.3-2 presentan una relación de valores aproximados de estas corrientes para distintos valores de ‘R2’ y ‘RGND’.

$V_{BE_m\acute{a}ximo} (BD139) = 1V$	
R2	I_{ON}
12,5 Ω	80mA
15 Ω	66,7mA
20 Ω	50mA
25 Ω	40mA
30 Ω	33,3mA

Tabla 3.3-1: Relación de corrientes I_{ON} para distintos valores de 'R2'.

$V_{BE_m\acute{a}ximo} (BC237) = 0,83V$	
RGND	I_{MAX}
1 Ω	830mA
2 Ω	415mA
3 Ω	277mA
4 Ω	208mA
5 Ω	166mA

Tabla 3.3-2: Relación de corrientes I_{MAX} para distintos valores de 'RGND'.

Cabe matizar, que los cálculos realizados en las tablas anteriores son orientativos, ya que están basados en el valor máximo de tensión base-emisor de cada transistor. Teóricamente, estas corrientes deben ser inferiores a las calculadas.

3.4. Implementación del diseño en circuito impreso.

Tras el diseño eléctrico del driver, se inician los primeros pasos para implementar el circuito en una 'PCB'. Con la ayuda de la aplicación de CADENCE, **OrCAD PCB Editor**, se establecen las asociaciones necesarias entre los elementos que forman parte de los dos esquemáticos integrados representados en las Figura 3.3-1 y Figura 3.3-3, y las dimensiones reales de los encapsulados y componentes discretos que representan^[37].

Tomando como punto de partida la solución integrada básica mostrada en la Figura 3.3-1, se pretende diseñar una tarjeta de circuito impreso de dos capas, donde la cara inferior contendrá el plano de masa. La ubicación de los componentes y del rutado se muestra en la Figura 3.4-1.

Si nos centramos en el diseño de la 'PCB', existen un gran número de precauciones que hay que tener en cuenta para evitar que el circuito se comporte de forma anómala a consecuencia de una mala distribución de los componentes y/o pistas^[37].

En nuestro caso, durante el diseño de las pistas, se ha tratado de realizar una distribución de las mismas, de manera que exista suficiente separación entre líneas para dotar a la tarjeta de un buen aislamiento eléctrico. Con ello, se pretende evitar en la medida de lo posible los acoplamientos magnéticos (*capacitivos e inductivos*). Aspecto que ha de tenerse en consideración, sobre todo en la cara inferior de la 'PCB', donde se encuentran ubicados tanto el plano de masa, como una gran cantidad de pistas activas que conectan los componentes discretos con el integrado^[37].

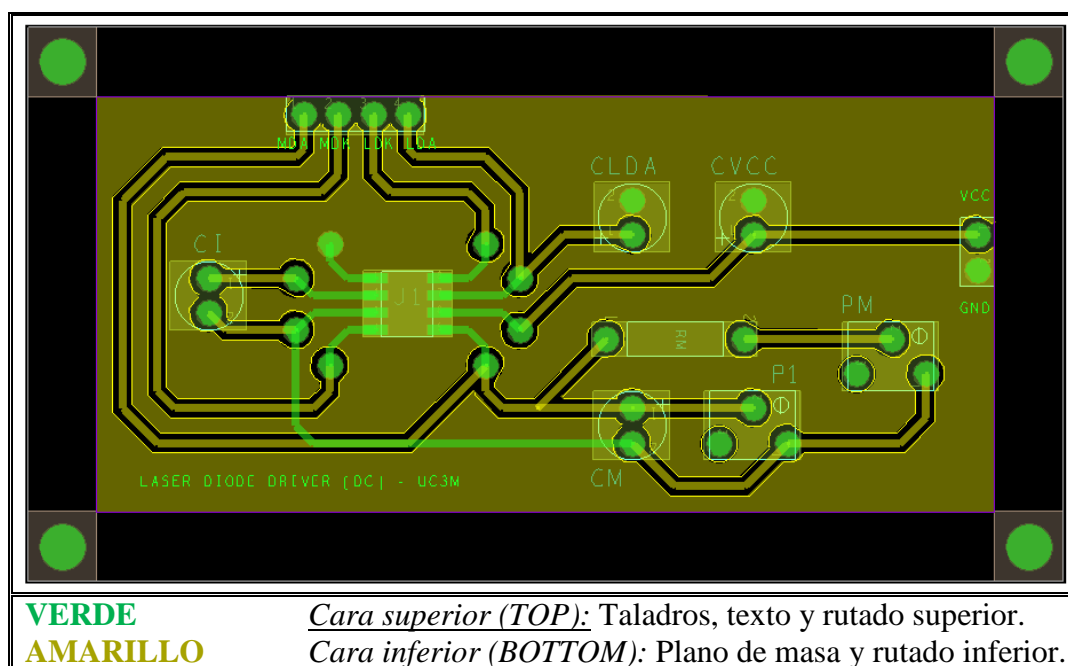


Figura 3.4-1: Circuito impreso básico y leyenda.

Seguindo esta consigna, se ha evitado tanto una excesiva proximidad entre componentes, y entre estos y los bordes de la placa, como el guiado de pistas a través de ellos.

En relación al rutado de las pistas, se ha optado por un ancho de 25mils ($0,635mm$), ya que es aproximadamente el ancho del pad 'SMD' del elemento 'J1' (Ver Figura 3.4-2). La condición más adversa, recae sobre el componente iC -WKN. Según sus especificaciones (Ver Anexo B), las condiciones máximas de operación se fijan en 15V y 300mA de alimentación. Con el ancho de pista seleccionado, se dispone de un margen de seguridad, ya que permite la circulación de corrientes del orden de 1A. Aun así, este driver presenta protecciones contra niveles altos de temperatura o corriente, de modo que no se llegaría nunca a alcanzar el límite de corriente de línea.

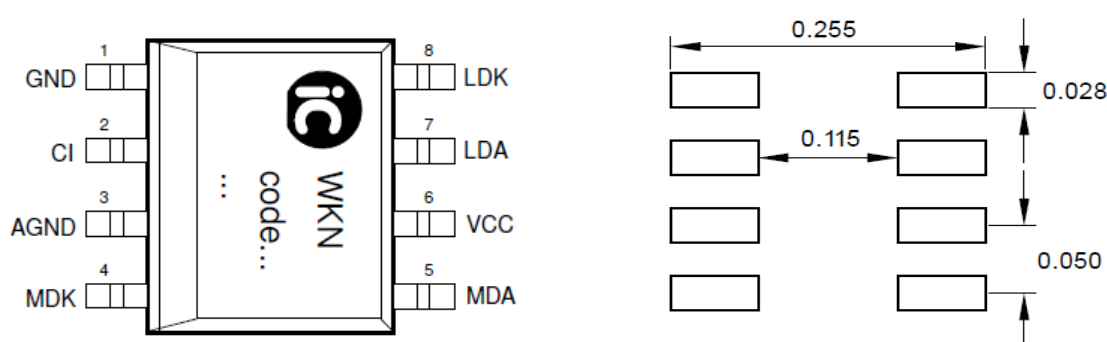


Figura 3.4-2: Encapsulado So8 [Izda.] y footprint asociado en pulgadas [Dcha.].

Con este circuito de acondicionamiento diseñado se pretenden controlar diferentes topologías de diodos láser, de modo que, para dotar a la tarjeta de mayor versatilidad, se realiza el rutado de las cuatro líneas de conexión entre el 'LD' y el integrado (MDA, MDK, LDA y LDK), hacia los puntos de conexión que se encuentran en la parte superior de la Figura 3.4-1.

En la fase de montaje, se incluyen pines hembra en aquellos puntos sujetos a frecuentes conexiones y desconexiones. Así, la ubicación de estos pines se localiza en la zona de control de potencia (*resistencia 'RM' y potenciómetros 'PM' y 'PI'*), en los cuatro puntos de conexión entre el diodo láser y el driver mencionados en el párrafo anterior, y en los dos puntos de conexión del lateral derecho (*Ver Figura 3.4-1*), que se corresponden con la entrada de alimentación de la placa.

El resultado de todo el proceso de diseño, fabricación y montaje se muestra en la Figura 3.4-3. Esta figura, refleja claramente la idea inicial de realizar dos caminos de ajuste independientes. En este caso, se encuentra conectado el potenciómetro '*PI*', utilizado durante pruebas de caracterización por la rapidez y sencillez que proporciona ante la necesidad de un cambio de resistencia. Cabe aclarar, que no deben estar nunca conectados los dos caminos, no por riesgo de dañar el circuito, sino porque en realidad, se están conectando los dos caminos en paralelo. Por tanto, la resistencia de monitorización no coincidirá con ninguna de las conectadas en los caminos. El valor real es en ese caso:

$$R_p = (RM + PM) \parallel (PI)$$

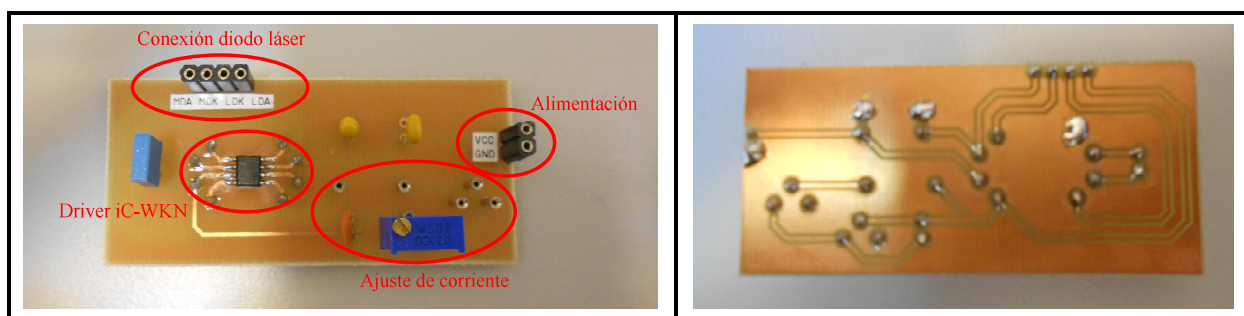


Figura 3.4-3: Imagen de las dos caras de la PCB básica. Top [Izda.] y Bottom [Dcha.].

Por tanto, solo queda indicar que componentes y/o adaptadores han sido soldados a esta placa de circuito impreso. Sus valores se recogen en la Tabla 3.4-1:

Componente	Valor
Entrada de alimentación	Pines hembra (x2)
Conexión con el láser	Pines hembra (x4)
J1	iC-WKN
CVCC	47nF
CLDA	1μF
CI	100nF
CM	47pF
PI	Pines hembra (x3) → 200kΩ
RM	Pines hembra (x2)
PM	Pines hembra (x3)

Tabla 3.4-1: Relación de componentes montados en la PCB básica.

Como ambos integrados son compatibles, se monta en este caso el *iC-WKN*, porque ante una gran similitud funcional, sus rangos de funcionamiento son mayores. De este modo, se reserva el otro integrado (*iC-WK/WKL*) para acoplarlo al circuito de potencia que detalla el fabricante en sus notas de aplicación^[35]. Se pretende verificar y validar también la funcionalidad conjunta del circuito de potencia y del driver, ya que las propiedades eléctricas del integrado *iC-WK/WKL* se quedan escasas en algunos casos.

De este modo, se dispondrá de dos circuitos impresos de características similares, utilizándose en cada caso la configuración más adecuada dependiendo de las propiedades del diodo láser al que se conecten.

Por tanto, se realiza el diseño de una nueva tarjeta de circuito impreso, que incorpore el rutado del esquemático representado en la Figura 3.3-3. Esta tarjeta, al igual que la anterior, sólo contiene dos capas activas por su sencillez. El resultado se presenta en la Figura 3.4-4:

Comparándolo con el diseño anterior, destaca la ausencia del plano de masa. En su lugar, se han separado los pines de alimentación de entrada, debido a que la alimentación del circuito cambia ligeramente si está el circuito de potencia activado o no. En caso afirmativo, se debe conectar el retorno de la fuente al pin de entrada 'RTN', dejando el pin 'GND' sin conectar. Ya que, tal y como indica el fabricante (*Ver Anexo C*), la operación conjunta recibe una alimentación flotante. El caso contrario, se corresponde con el funcionamiento nominal del integrado. Es necesario cortocircuitar externamente el retorno de la fuente con la masa, y conectarlo únicamente al pin 'GND' para que no se acoplen los 50Hz de la red. Aquí, la función del plano de masa la desempeña la línea que conecta el pin 'GND' de entrada de alimentación a través del interruptor 'SW1', con el pin 1 del integrado, cuando el booster está desactivado.

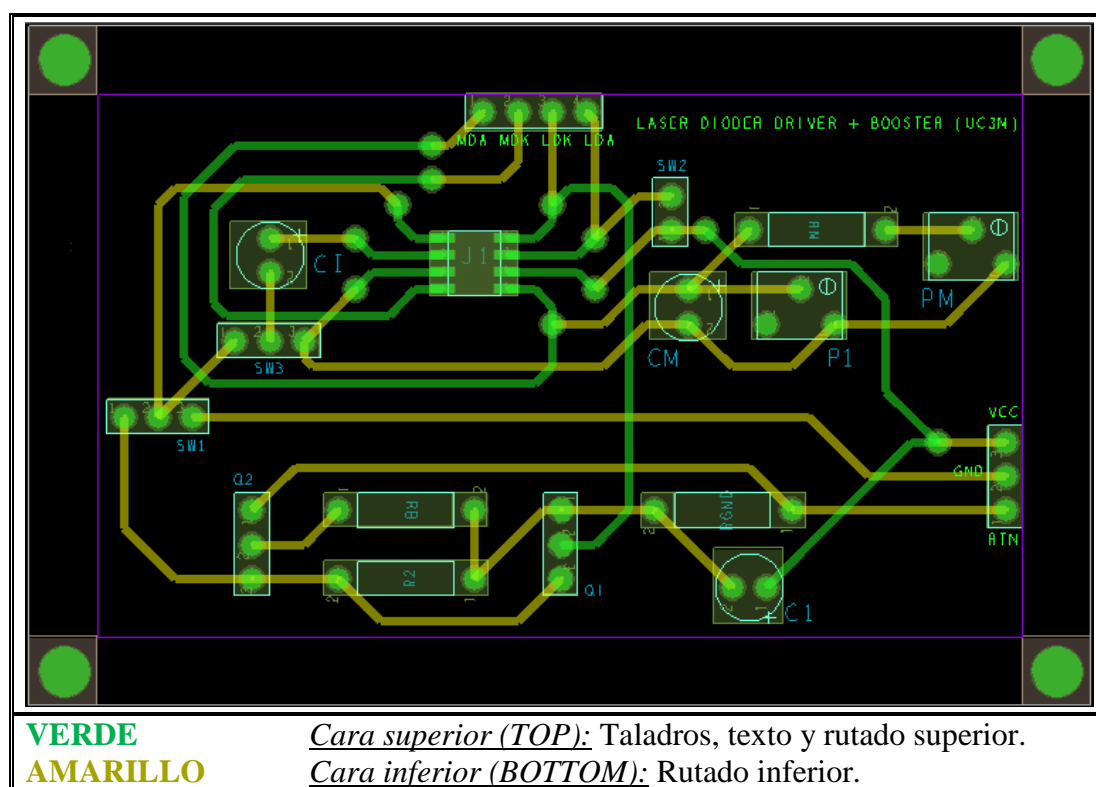


Figura 3.4-4: Circuito impreso con booster acoplado y leyenda.

Con respecto al diseño del rutado, al margen de la modificación señalada en el párrafo anterior, se puede añadir que las dimensiones de los taladros y el pad de inserción del componente 'Q1' han sido modificadas. El taladro pasa a ser de 40mils (1,016mm.) de diámetro y el pad a 75mils (1,905mm.). Ya que, al tratarse de un transistor de mayor potencia (BD139), presenta unos terminales de mayor tamaño. Las dimensiones de los puntos de inserción restantes se caracterizan por un diámetro de taladro de 33mils (0,838mm.), y por un diámetro de pad de 70mils (1,778mm.).

El resultado del proceso de fabricación y montaje se muestra en la Figura 3.4-5.

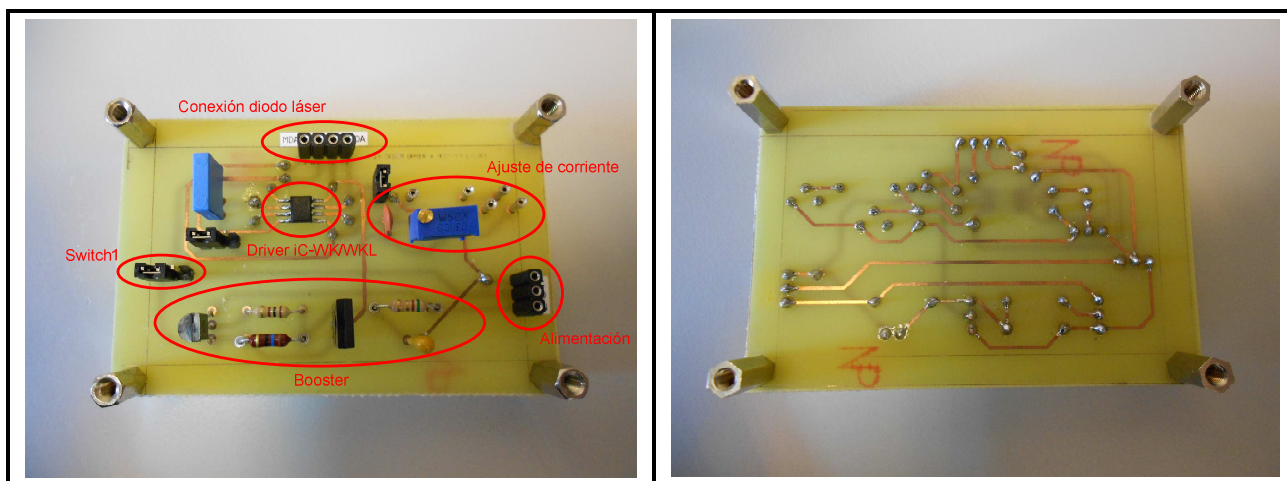


Figura 3.4-5: Imagen de las dos caras de la PCB con booster. Top [Izda.] y Bottom [Dcha.].

La imagen de la izquierda, refleja la conexión de los tres interruptores para activar el circuito de potencia. Si se modifica la conexión en los tres puntos, se consigue que el driver opere de forma nominal. Se puede observar, como en el lugar reservado para los interruptores, se han montado por cuestiones de espacio y sencillez, conjuntos de dos y tres pines macho que se cortocircuitan a través de jumpers.

Además, esta imagen muestra tanto la modificación introducida en la entrada de alimentación, como la posición de los nuevos pines hembra al margen de los ya mencionados. Estos, se ubican en las resistencias 'R2' y 'RGND', ya que a través de ellas se fijan las corrientes de operación y apagado del circuito de potencia.

El valor de los componentes y/o adaptadores montados en cada posición se resume en la Tabla 3.4-2:

Componente	Valor
Entrada de alimentación	Pines hembra (x3)
Conexión con el láser	Pines hembra (x4)
J1	iC-WK/WKL
C1	1μF
CI	220nF
CM	47pF
P1	Pines hembra (x3) → 50kΩ
RM	Pines hembra (x2)
PM	Pines hembra (x3)

Componente	Valor
RB	100 Ω
R2	Pines hembra (x2) \rightarrow 16 Ω
RGND	Pines hembra (x2) \rightarrow 3,3 Ω
Q1	BD139
Q2	BC237
SW1	Pines macho (x3) + jumper
SW2	Pines macho (x2) + jumper
SW3	Pines macho (x3) + jumper

Tabla 3.4-2: Relación de componentes montados en la PCB con booster acoplado.

3.5. Conclusiones.

Apoyándonos en todo lo argumentado a lo largo de este capítulo, se opta por utilizar un sistema de control en lazo cerrado para operar con diodos láser, dado que la regulación de la emisión del láser es más precisa.

Por otro lado, estos drivers se pueden implementar a partir de componentes discretos o utilizar un integrado. En este caso es preferible utilizar la solución integrada frente a la discreta, ya que aun siendo la opción más costosa, presenta una funcionalidad y versatilidad no alcanzable con un circuito discreto.

Dentro del mercado de los circuitos automáticos de control integrados, vista la gran variabilidad de diodos láser disponibles, se escogen los dispositivos *ADN2830* de la compañía Analog Devices, *iC-WK/WKL* o *iC-WKN* de la compañía iC-Haus, por adaptarse perfectamente a nuestras necesidades. Siendo seleccionados estos dos últimos finalmente, por ser más económicos y sencillos de utilizar que el *ADN2830*.

Durante su uso, podrá darse el caso de operar bajo una situación genérica, donde estos integrados cumplen las propiedades especificadas por los fabricantes, u operar bajo una situación especial, que en el mejor de los casos puede solventarse aumentando el condensador 'Ci', o en el peor obliga a tener que acudir a un circuito de adaptación a fuente de corriente constante para estabilizar la emisión del diodo láser.

Capítulo 4. Caracterización del diseño y resultados.

4.1. *Introducción.*

Una vez finaliza la etapa de diseño y montaje de la tarjeta de circuito impreso, se procede a verificar su funcionalidad, comparando los resultados obtenidos con los especificados por el fabricante.

A lo largo de esta caracterización, se comprueba el arranque controlado del circuito de control, sus sistemas de protección, el rango de modulación de corriente en el que es capaz de trabajar y por último, el nivel de estabilidad de emisión alcanzado por el diodo láser. En cada uno de los casos, además de presentar y evaluar los resultados experimentales, se realiza una descripción detallada de los montajes utilizados para tal fin.

Aquí, se emplean los dos diodos láser cuyo punto de trabajo queda definido en los apartados 3.2.2 y 3.2.3. El diodo láser '*Hitachi HLG6501MG*' se utiliza para verificar las propiedades del circuito de control implementado, mientras que el diodo '*DPSS*' se reserva para las pruebas de estabilidad y para la aplicación práctica interferométrica, ya que emite un haz más coherente que cualquiera de los diodos láser disponibles en el laboratorio.

Como consecuencia, se tratan todas las posibles situaciones que se manifiestan durante la operación conjunta del circuito de acondicionamiento y el diodo láser.

4.2. *Protecciones.*

Tal y como se ha comentado en el apartado 3.2.1, al margen de sus propiedades como circuito de control, una de las propiedades adicionales que presentan los integrados *iCs*, es la protección ante transitorios de corriente. De este modo, se disminuye la probabilidad de dañar el diodo láser de forma parcial o completa a causa de un montaje y/o alimentación erróneo. Esta protección viene implementada de dos formas independientes:

Por un lado, existe una protección ubicada en la línea de alimentación interna del circuito que une los pines 6 (*VCC*) y 7 (*LDA*) del integrado (*Ver Figura 3.2.1-2*). Se encarga de filtrar los picos (*variaciones bruscas*) de corriente durante la alimentación, evitando que afecten al dispositivo láser que se utiliza. Esta protección, puede ser eliminada cortocircuitando externamente ambos pines tal y como hacemos a través del interruptor '*SW2*' cuando activamos el booster en la *PCB*.

En cambio, la otra protección afecta a los transitorios generados durante el encendido y el apagado del dispositivo, la desempeña el condensador '*Ci*' por medio de su tiempo de carga y descarga, y la resistencia '*RM*' que fijará la potencia de salida (*Ver Anexo A o B*).

La funcionalidad de gran parte de las protecciones ha sido verificada a lo largo de las medidas experimentales efectuadas, pero debido a su gran importancia, es el control de arranque, el que se va analizar a continuación con más detalle. En la Tabla 4.2-1, se recogen tanto los instrumentos como los componentes electrónicos empleados:

Instrumento / Componente	Características
Diodo láser	Hitachi HL6501MG (<i>Ver Anexo C</i>)
Driver	iC-WKN
Amplificador Diferencial	AD620
R_{sense} , R_G	1Ω , $1k\Omega$
Interruptor externo	IP67
Fuente de alimentación DC (x2)	Protek 3033B
Multímetro	Wavetek meterman 5XL
Sistema de adquisición	Cleverscope CS328A

Tabla 4.2-1: Componentes e instrumentos utilizados durante la verificación del arranque.

Para monitorizar la tensión de alimentación del driver (V_{CC}), del diodo láser (V_{LDA}) y de la corriente que circula por él (I_{LDA}), se utiliza el montaje de la Figura 4.2-1. En ella, se muestra la configuración del circuito de control básico que se utiliza para este fin, caracterizada por la presencia del potenciómetro 'PI' en la etapa de regulación de corriente.

Se utilizan dos fuentes para alimentarlo, ya que la salida de $5V_{DC}$ fija no está dotada de limitación de corriente, y por tanto no disponemos ni de protección, ni de un display que nos indique el consumo instantáneo del dispositivo. De este modo con una de ellas se alimenta el circuito de control y con la otra, el amplificador de instrumentación.

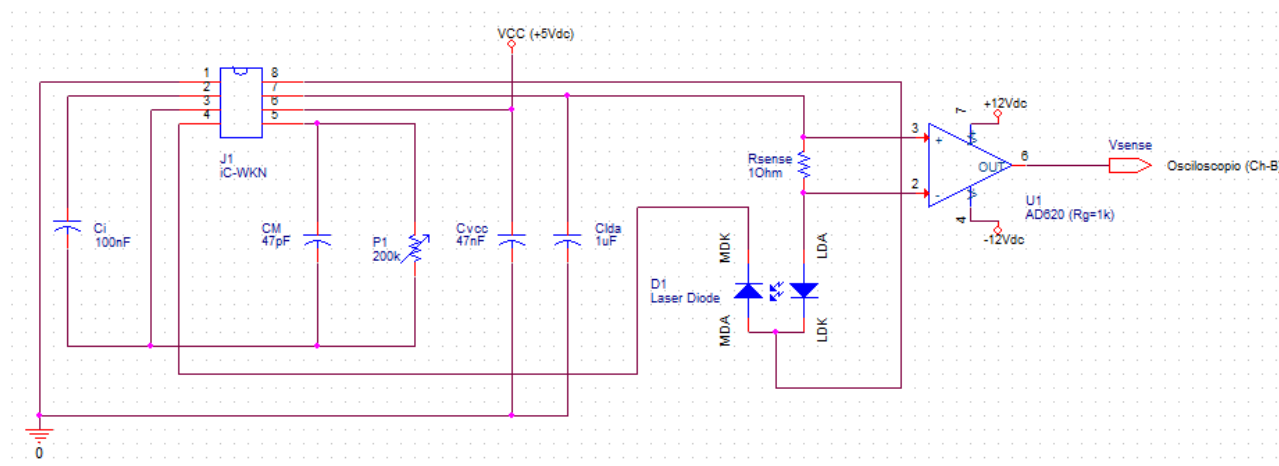


Figura 4.2-1: Esquema del circuito implementado para adquisición de la corriente I_{LDA} .

Al no disponer de una sonda de corriente en el laboratorio se añade la resistencia ' R_{sense} ' de 1Ω en serie con el diodo láser, para poder medir la corriente que circula por él. Se utiliza ese valor para que la caída de tensión en la resistencia sea lo más pequeña posible y así influir de la menor manera posible en el punto de polarización del circuito. Además, con este valor, la forma de onda obtenida se corresponderá exactamente con la corriente que circula por el diodo.

Posteriormente, esta tensión es amplificada por medio del amplificador de instrumentación *AD620*, cuyo correcto conexionado se muestra en la Figura 4.2-2. Según sus hojas de características, la ganancia del amplificador se fija a través de la resistencia ' R_G '. En este caso, se utiliza una resistencia de $1k\Omega$ para obtener una amplificación aproximada de $50V/V$. La relación entre ambos parámetros es:

$$G = (49,4k\Omega / R_G) + 1$$

Se podría medir con los dos canales directamente sobre los terminales de la resistencia, y diferenciándolos posteriormente, se obtendría la corriente que circula por el diodo. En nuestro caso, si se quiere comparar la evolución de la corriente que circula por el diodo láser con respecto a la tensión de alimentación del circuito de control, no podríamos, ya que solo disponemos de dos canales analógicos de entrada al sistema de adquisición. De ahí, la razón por la que se utiliza el amplificador diferencial.

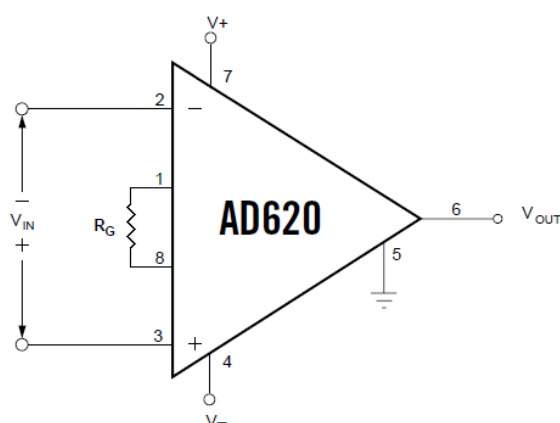


Figura 4.2-2: Conexión externa del amplificador *AD620*.

Según indica el fabricante del integrado (Ver Anexo A, figuras 1 y 2), el arranque del dispositivo se realiza en tres etapas. Cabe destacar que los resultados aportados en ambas gráficas están asociados a un funcionamiento con un condensador (C_i) de $100nF$. Si se modificase este componente o el valor de la resistencia de monitorización (en este caso el ajuste del potenciómetro ' PI '), los tiempos de la primera y la segunda etapa respectivamente, experimentarían pequeñas variaciones con respecto a lo especificado.

La primera etapa se caracteriza por un arranque suave cuya duración depende del tiempo que tarda el terminal *MDA* en alcanzar $1/3$ de su tensión nominal ($0,5V$), que depende a su vez directamente del tiempo de carga del condensador ' C_i '. Durante este periodo, la tensión del láser sigue a la tensión de alimentación del driver (Ver Figura 4.2-3), aunque no circula prácticamente corriente por el hasta el fin de la etapa.

La Figura 4.2-3, refleja la curva de encendido característica de la fuente, al habilitar la salida correspondiente a la alimentación del circuito de control ($+5V_{DC}$). Cabe reseñar, que este arranque no se puede considerar válido teniendo en cuenta que, ni se trata de una forma de onda repetitiva (*su tiempo de subida y picos de tensión varían considerablemente*), ni el tiempo de subida está dentro de un rango aceptable. La duración de este arranque es del orden de 10ms, mientras que un arranque típico de una fuente de alimentación, se sitúa en el orden de los μs . Aun así, en esta captura del sistema de adquisición, podemos comprobar cómo la tensión de salida del integrado a través del pin *LDA*, sigue en todo momento a la alimentación del driver.

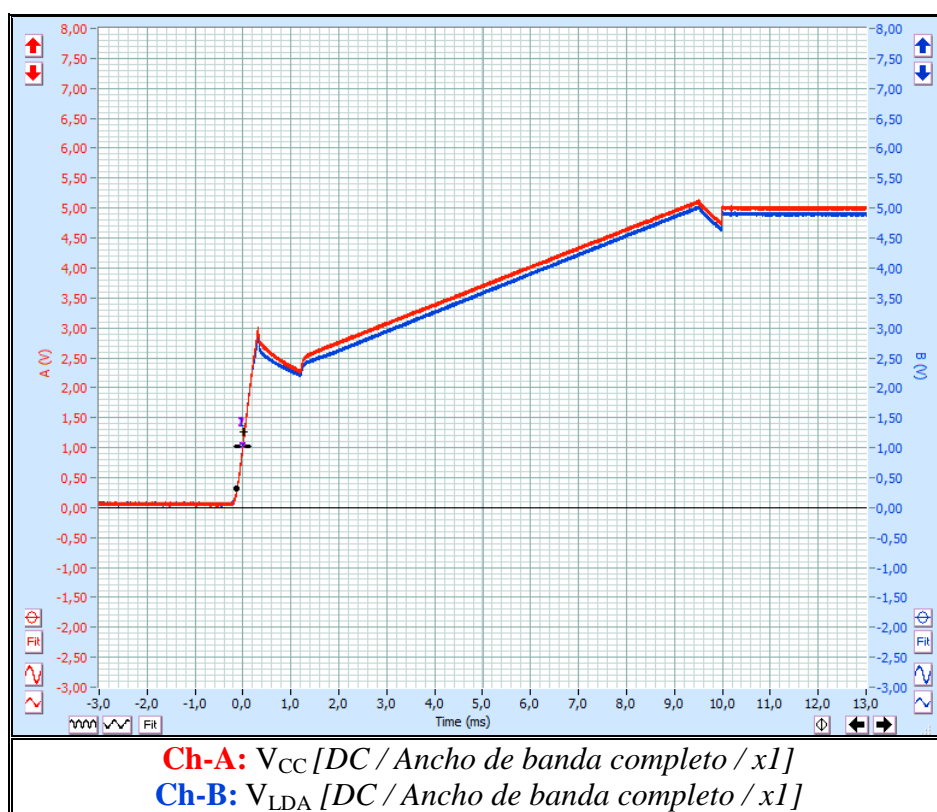


Figura 4.2-3: Arranque característico de la fuente Protek 3033B.

Otro dato importante que se puede extraer de la Figura 4.2-3, es que existe una pequeña caída de tensión de unos 100mV en la línea de alimentación del circuito de control debido a la presencia de la protección ante transitorios. En la Figura 4.2-4 se puede observar con un mayor detalle esta caída de tensión al disminuir la escala (*voltios/div*) en el sistema de adquisición.

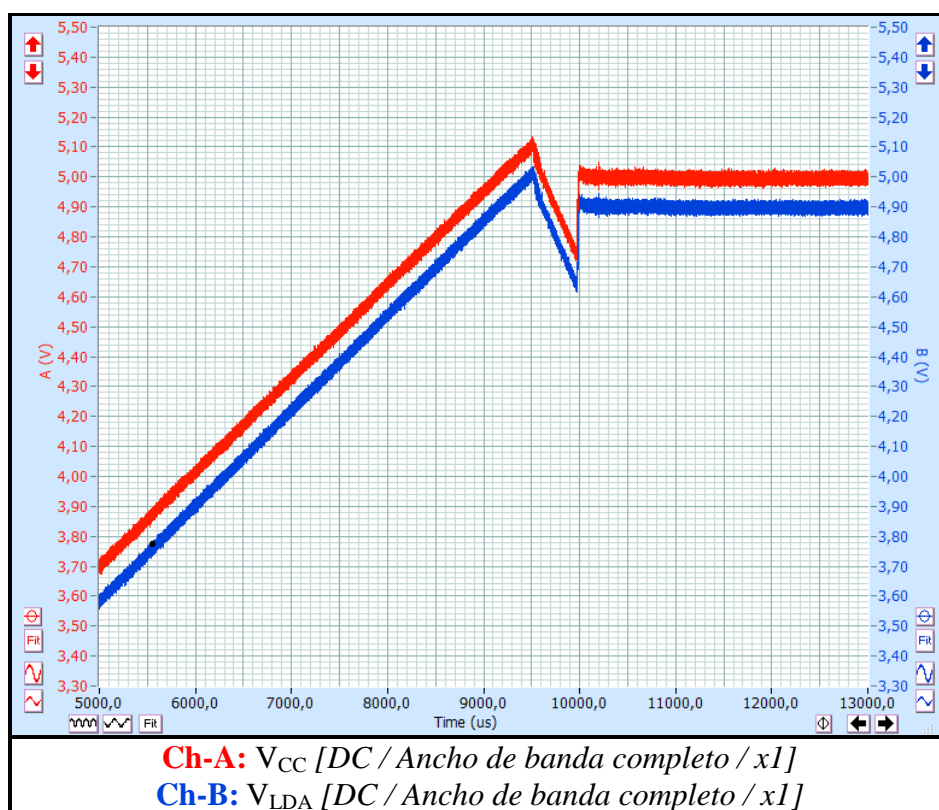


Figura 4.2-4: Caída de tensión en la línea de alimentación del integrado iC.

Para lograr un correcto encendido del sistema, se añade a la salida de $+5V_{DC}$ de la fuente, un interruptor de dos posiciones para activar o desactivar la alimentación del driver. De este modo, conseguimos un arranque independiente de los tiempos de carga y/o regulación de la fuente, ya que la tensión está estabilizada en uno de sus terminales en el momento de activación del interruptor. En la Figura 4.2-5 se muestra la modificación implementada con respecto al circuito inicial utilizado, para poder realizar un estudio apropiado del arranque.

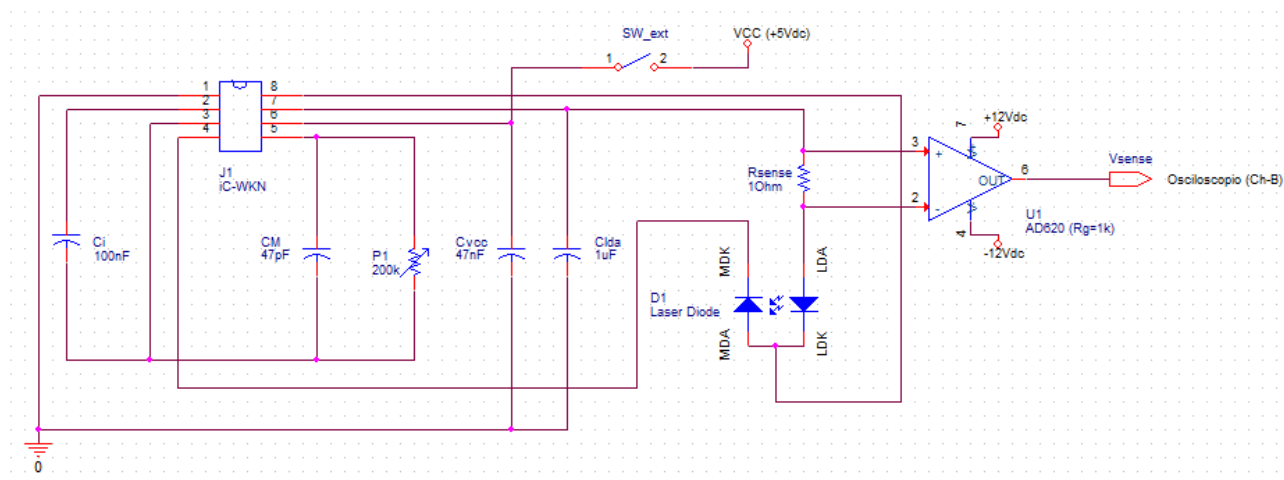


Figura 4.2-5: Modificación introducida para la correcta adquisición de la corriente I_{LDA} .

En la segunda etapa, comienza a circular corriente por el diodo láser de manera progresiva hasta el punto de polarización del sistema fijado por la resistencia ajustada en el potenciómetro 'PI'. Durante este periodo, el condensador 'Ci' finaliza por completo su carga. En la Figura 4.2-6 se pueden observar las tres etapas claramente diferenciadas, donde la última de ellas se corresponde con el funcionamiento en continua del circuito (*régimen estacionario*).

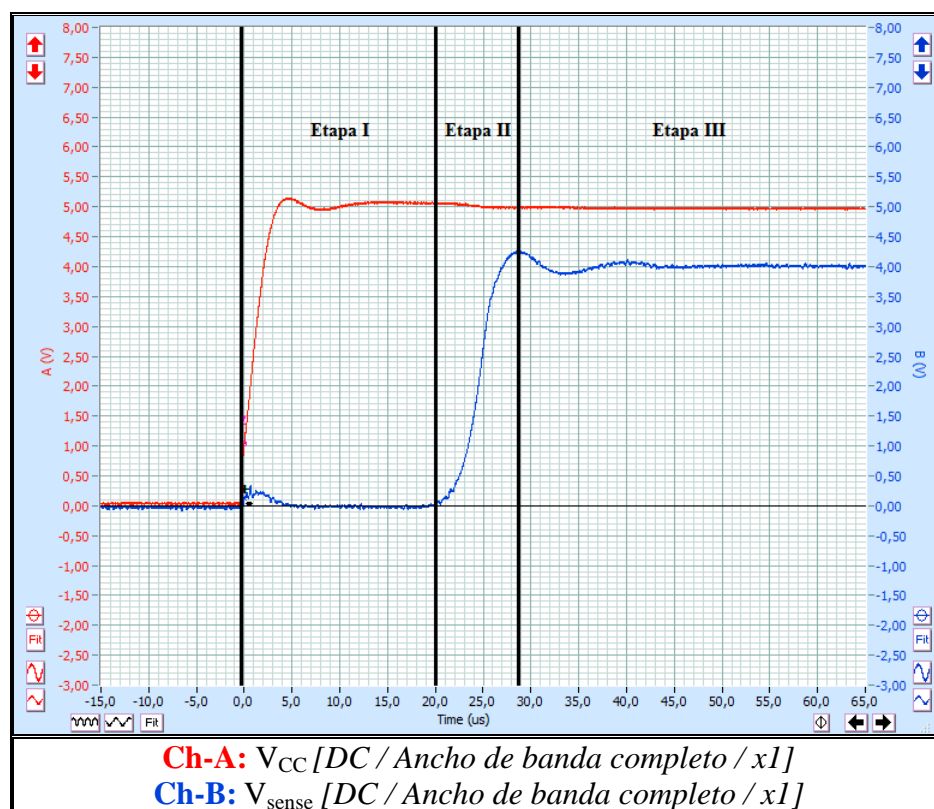


Figura 4.2-6: Arranque del circuito de control.

Al haber utilizado como resistencia de sensado 1Ω , la forma de onda de ' V_{sense} ' se corresponde exactamente con la corriente que circula por el diodo láser. En este caso, vemos como esta señal queda estabilizada en 4V. Teniendo en cuenta el factor de amplificación que le hemos aplicado, podemos obtener el valor de la corriente de operación:

$$I_{LDA} \equiv V_{Rsense} = V_{sense} / G = 4V / (50,4V / V) = 79mV \equiv 79mA$$

Queda reflejado con claridad, cómo hasta que la tensión en los terminales del condensador 'Ci' no alcanza el valor requerido, no comienza a circular corriente por el diodo láser. Este intervalo de tiempo dura aproximadamente $20\mu s$, tal y como se especifica en las hojas de características del integrado (*Ver Anexo A*). Posteriormente, esta, experimenta un aumento progresivo de unos $9\mu s$ de duración, hasta que alcanza el punto de polarización del sistema.

Una vez, que se comprueba el correcto funcionamiento del arranque controlado del circuito, se procede a verificar el apagado. Cuando se desactiva la alimentación, el circuito evoluciona manteniendo la tensión por debajo del límite inferior de alimentación, hasta que la corriente cae por completo. La Figura 4.2-7 verifica este comportamiento:

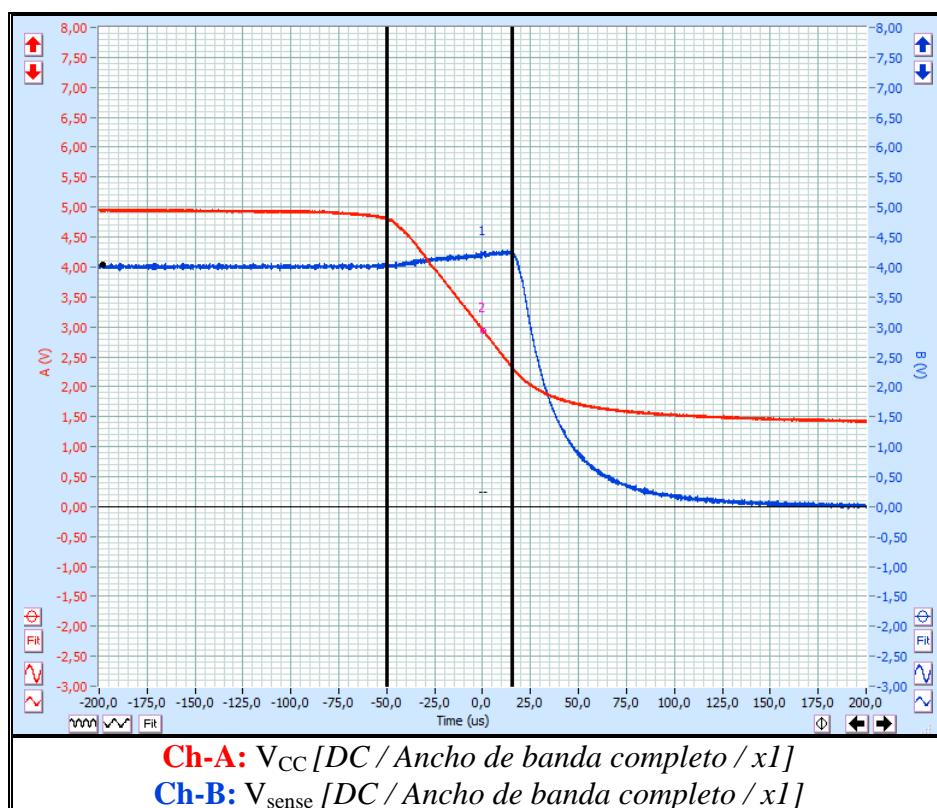


Figura 4.2-7: Apagado del circuito de control.

Se puede observar, como el tiempo transcurrido entre el apagado de la fuente y el instante en que la circulación de corriente empieza a descender, se sitúa alrededor de los **65 μ s**. Vemos como la alimentación cae hasta un valor de **1,5V**, mientras la corriente disminuye de forma progresiva y controlada hasta alcanzar los 0A. Nuevamente, las formas de onda obtenidas confirman el comportamiento transitorio del integrado, así que con esta prueba queda validado el funcionamiento de las protecciones. A continuación, en la Figura 4.2-8, se muestra una instantánea real del montaje completo realizado para la verificación del arranque del circuito de control.

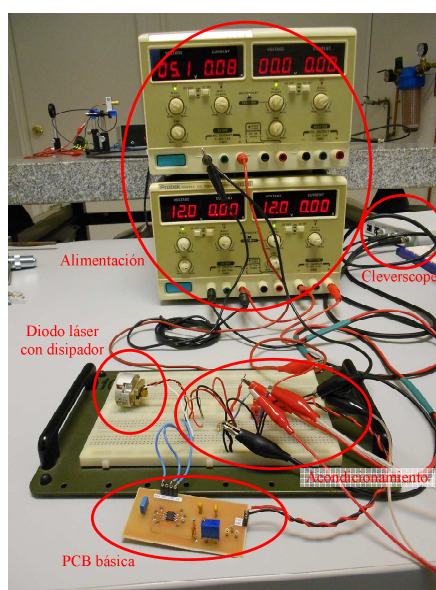


Figura 4.2-8: Detalle del montaje realizado para la adquisición de la corriente I_{LDA} .

4.3. Respuesta en AC.

El objetivo de esta prueba es estudiar el comportamiento en frecuencia de la entrada de modulación de los integrados *iCs*. Según las hojas de características de estos dispositivos (Ver Anexos A y B), es posible incorporar una modulación analógica del orden de kHz, gracias a la presencia del espejo de corriente que lleva embebido. A él, se encuentran conectadas las dos entradas de monitorización del circuito (*MDK* y *MDA*), de manera que, como ya se ha apuntado anteriormente, las variaciones introducidas en uno de los terminales repercuten en el otro.

La presencia de la segunda entrada de monitorización dota de versatilidad al dispositivo, ya que no sólo se puede conectar cualquier tipo de configuración de diodo láser, si no que para todas ellas es posible introducir una modulación por el terminal que queda libre. Una de las principales utilidades de la modulación en corriente, se centra en las comunicaciones ópticas, donde gracias a ella se consigue atenuar la influencia de los ruidos de baja frecuencia durante la transmisión de señales. La Figura 4.3-1 representa el modo de aplicar la modulación al circuito para dos configuraciones diferentes.

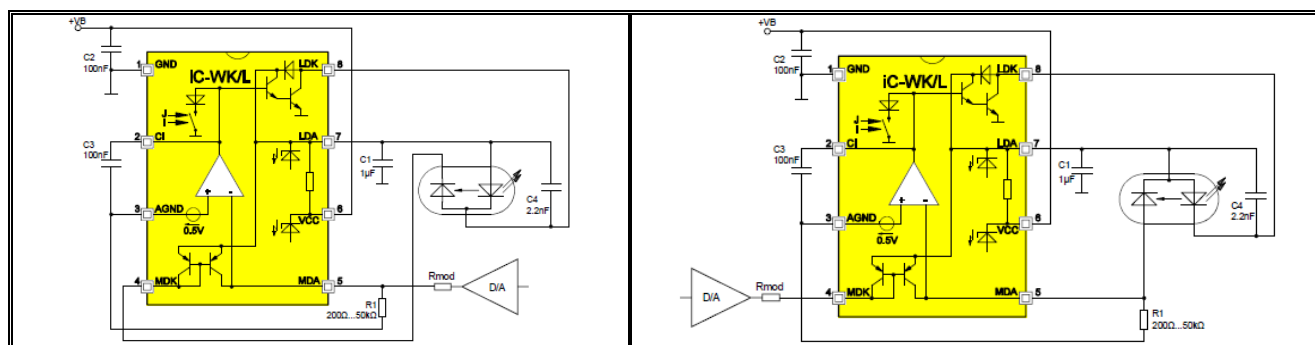


Figura 4.3-1: Entrada de modulación para un Laser tipo 'P' [Izda.] y uno tipo 'N' [Dcha.]^[38].

Partiendo de las notas de aplicación del dispositivo^[38], se procede a realizar el montaje necesario para cuantificar su ancho de banda. El diodo láser utilizado para este fin, se corresponde con el modelo *Hitachi HL6501MG*. Al tratarse de un diodo láser tipo 'P', la modulación debe ser introducida a través del pin 5 (*MDA*). La Figura 4.3-2 muestra un esquema del montaje completo que ha sido realizado.

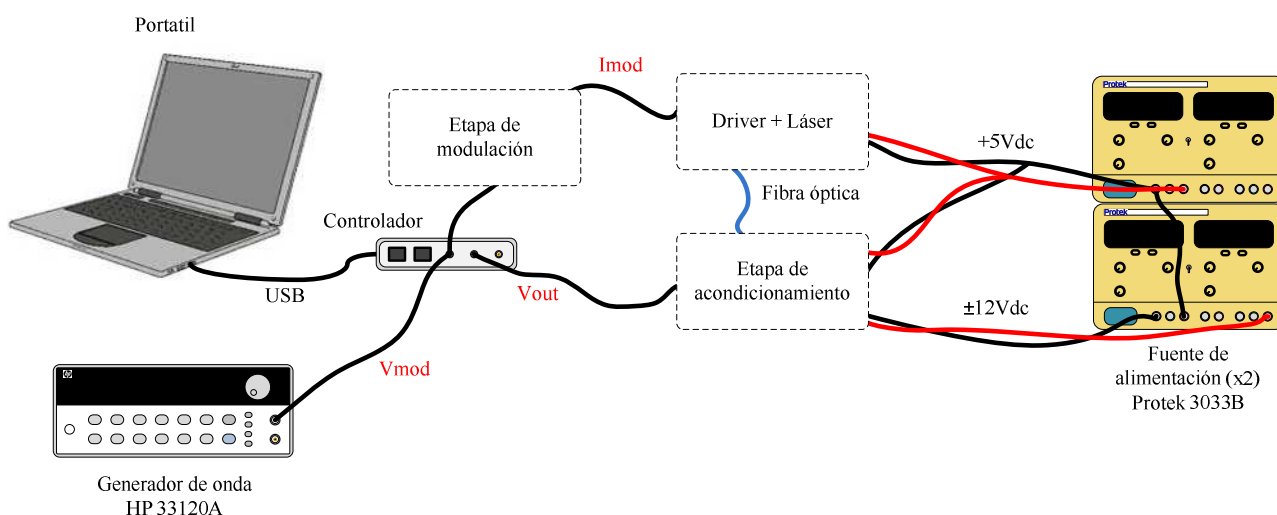


Figura 4.3-2: Montaje implementado para realizar las medidas con señal modulada.

En nuestro caso, la modulación es directamente analógica a través de un generador de onda, por lo que la etapa de conversión ‘D/A’ mostrada en la Figura 4.3-1 no es necesaria. Además, es preciso incorporar un circuito de acondicionamiento a la señal de emisión del diodo láser para poder obtener las medidas experimentales. Para llevarlo a cabo, se necesitan los componentes e instrumentación detallados en la Tabla 4.3-1.

Instrumento / Componente	Características
Diodo láser	Hitachi HL6501MG (<i>Ver Anexo C</i>)
Driver	iC-WKN
Fibra óptica de plástico (<i>POF</i>)	$\phi_{nucleo}=1\text{mm}$ $\phi_{cubierta}=2,2\text{mm}$ longitud=600mm
Fotodetector	Avago SFH250V
C_{mod} , C1	680nF (x2)
R_{mod} , R1, R2, R3	10k Ω , 2,2k Ω , 10k Ω , 100k Ω
Amplificador Operacional	TL074
Fuente de alimentación DC (x2)	Protek 3033B
Multímetro	Wavetek meterman 5XL
Generador de onda	HP 33120A
Sistema de adquisición	Cleverscope CS328A

Tabla 4.3-1: Componentes e instrumentos utilizados durante la prueba de modulación.

En esta prueba, la potencia óptica emitida por el diodo laser es transportada por medio de un latiguillo de fibra óptica de plástico al fotoreceptor externo ‘Avago SFH250V’. Suponemos, que la potencia óptica recibida por el fotodiodo es constante a lo largo del experimento. Es decir, se considera que trabajamos sobre una situación ‘estable’.

Esta señal, para poder ser medida, será acondicionada según se especifica en la Figura 4.3-3.

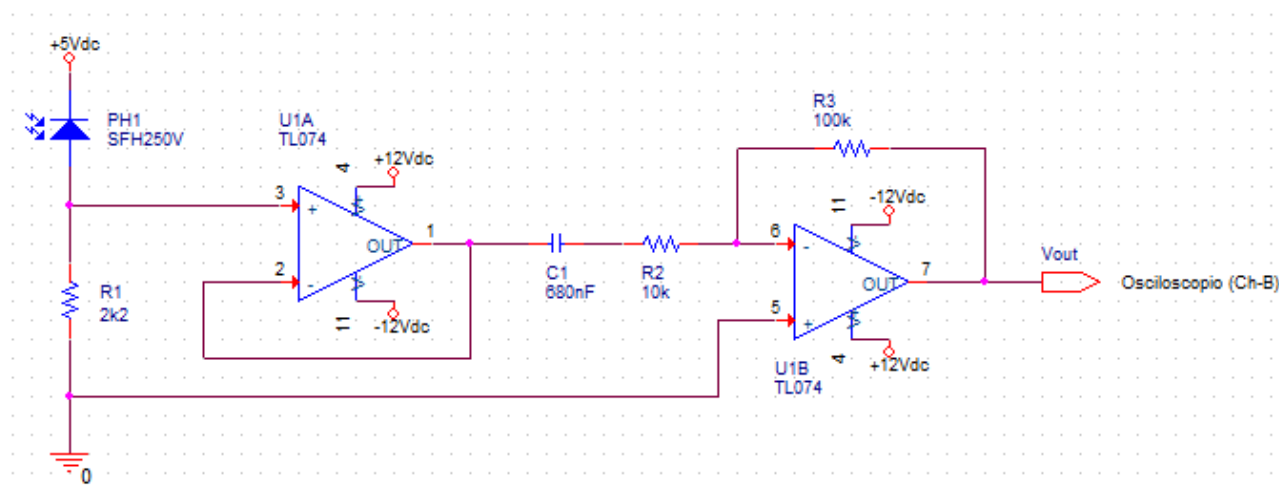


Figura 4.3-3: Circuito de acondicionamiento de salida.

El fotodiodo, al ser iluminado, genera una corriente que circula a través de la resistencia ' R_I '. La tensión que cae en ella, es amplificada por un factor 10, a través de uno de los cuatro amplificadores, configurado en modo inversor, que lleva embebido el integrado $TL074$. El circuito de acondicionamiento lo completan otro operacional, en este caso como seguidor de tensión, y el condensador ' C_I ', cuya misión es filtrar el nivel de continua de la señal, dejando a la salida del circuito una señal senoidal sin offset. A través del sistema de adquisición, nos centraremos en como varía la amplitud de esta señal con la frecuencia de la señal modulada.

Al segundo canal analógico del sistema de adquisición, se conecta la señal modulada que se aplica al sistema de control. Como se ha apuntado previamente, esta señal se obtiene de un generador modelo ' $HP\ 33120A$ '. La amplitud de la modulación, debe tener un nivel bajo para no repercutir en lazo de control a través del espejo de corriente. Por consiguiente, se realiza un barrido en frecuencia hasta 500kHz a una amplitud constante de 100mV_{pp}, tal y como se indica en la Figura 4.3-4.

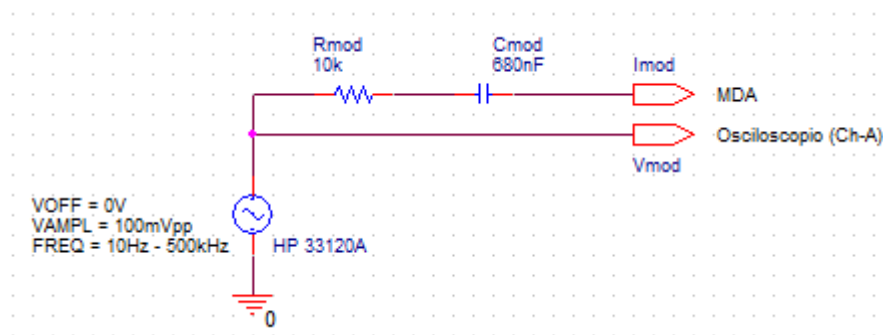


Figura 4.3-4: Etapa de modulación analógica.

Aquí, el condensador ' C_{mod} ' se encarga de filtrar la continua de la señal, aunque a priori esta no debería existir, y la resistencia ' R_{mod} ' por otro lado, realiza la adaptación de la señal modulada de tensión a corriente teniendo en cuenta que:

$$I_{mod_max} = (V_{MDA} - V_{mod_max}) / 10k\Omega = (0,5V - 50mV_p) / 10k\Omega = 45\mu A_p$$

Los datos experimentales obtenidos con este montaje se representan en la Figura 4.3-5. El gráfico, además de reflejar los datos experimentales (*línea azul*), incorpora el nivel de amplitud que marca las frecuencias de corte del sistema (*línea granate*).

Las frecuencias de corte, tanto superior como inferior, se calculan tomando los puntos en los que la señal se atenúa 3dB con respecto a su máxima amplitud. Es decir, cuando su amplitud disminuye aproximadamente en un 30%.

$$-3dB = 20 \cdot \log(A)$$

$$A = 10^{-3/20} = 0,7079$$

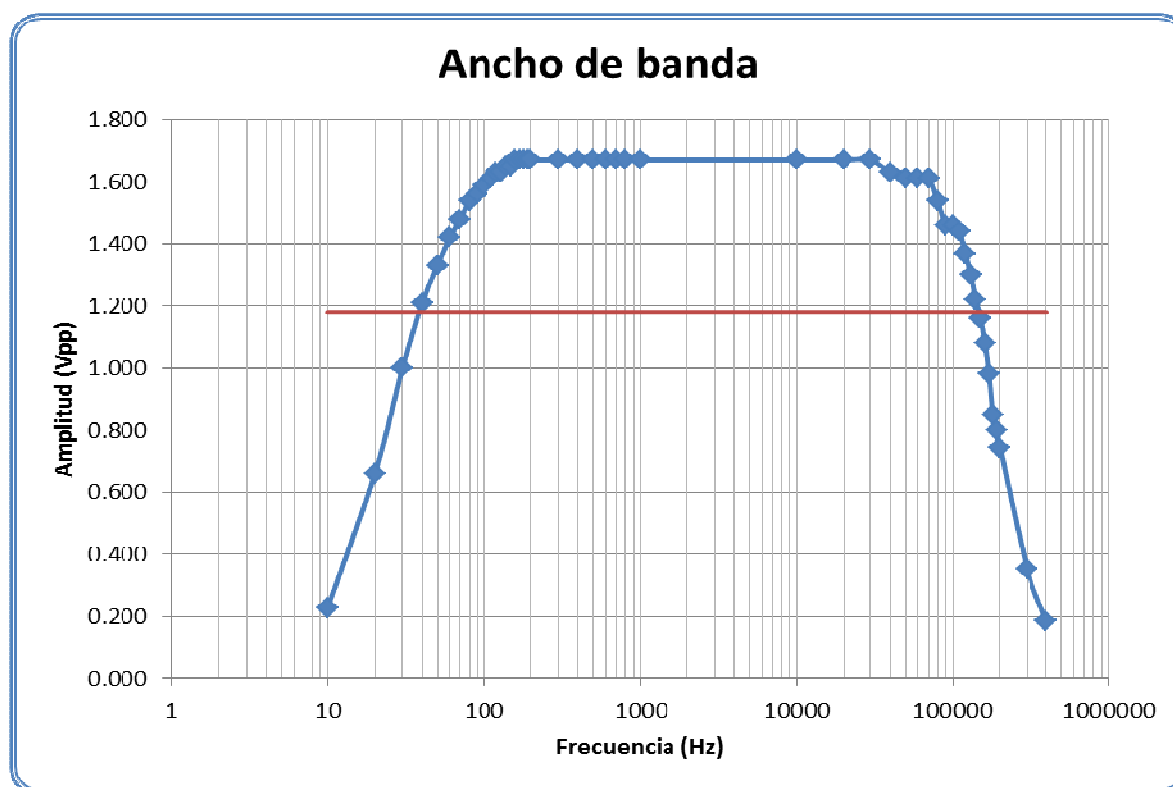


Figura 4.3-5: Ancho de banda del integrado iC.

De este modo, la amplitud de corte se sitúa en un nivel de $1,18V_{pp}$. Así, buscando el cruce entre la curva que representa el ancho de banda del dispositivo (*línea azul*) y el nivel de amplitud (*línea granate*), obtenemos que las frecuencias de corte son:

- Frecuencia de corte inferior (f_{ci}): **~ 38Hz**
- Frecuencia de corte superior (f_{es}): **~ 145kHz**

El resultado obtenido, no solo verifica el comportamiento en frecuencia especificado, ya que el fabricante sitúa el límite superior de la banda de modulación en los kilohercios, sino que también valida el uso de este circuito de control en sistemas de instrumentación optoelectrónicos basados en modulación de amplitud, tanto en continua como con portadoras del orden de 100kHz.

Cabe mencionar, que en esta prueba se ha tenido en cuenta la posible influencia del operacional *TL074* en los datos obtenidos. Su producto *GBP* típico coincide con 3MHz. Por tanto, dado que hemos utilizado el amplificador en modo inversor con una ganancia de 10V/V, este introduce un polo en 300kHz. Tal y como se puede observar en el gráfico de la Figura 4.3-5, los 300MHz están fuera del ancho de banda del integrado, con lo cual, no interfiere en el comportamiento del circuito de control.

4.4. Estabilidad.

Una vez se asegura que el diodo láser está completamente protegido por el circuito de control, se realiza el estudio del comportamiento en continua del conjunto. La estabilidad, es la principal propiedad que se pretende alcanzar, ya que como se ha comentado en varias ocasiones, un haz inestable puede llegar a perturbar las medidas que se estén realizando por medio de un sistema de instrumentación con sensores de fibra óptica.

En este experimento, se utiliza como fuente de luz el láser 'DPSS' ($P=10mW$ y $\lambda=532nm$), cuya curva de característica de funcionamiento se adjunta en el Anexo D. Este, al no presentar fotodiodo monitor dentro del encapsulado, origina la necesidad de implementar una etapa de acondicionamiento adicional, que desempeñe la función del fotodiodo interno del diodo láser.

Para ello, se alinea el haz del láser con la ayuda de una estación de posicionamiento, de manera que este incida perpendicularmente sobre una lente, cuya misión es enfocar la potencia óptica emitida al acoplamiento de la fibra óptica. Para recoger esta señal, se inserta un latiguillo de fibra óptica monomodo con un divisor de 50%/50% obteniéndose de este modo, dos latiguillos con la mitad de potencia óptica confinada en su interior. La Figura 4.4-1 refleja un detalle real del alineamiento.

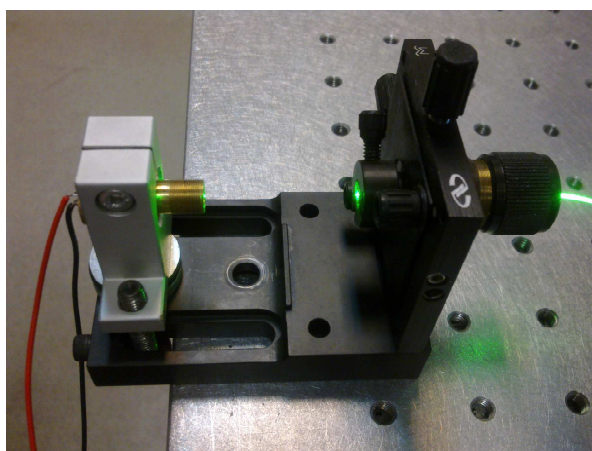


Figura 4.4-1: *Detalle del acoplamiento de la fibra óptica.*

El láser, se fija a la estación por medio de un soporte mecánico, que además de posicionarlo, desempeña la función de disipador. Por otro lado, la lente está montada sobre un soporte móvil, que permite su desplazamiento horizontal y vertical a través de dos tornillos de ajuste.

La cantidad de luz recogida por la fibra óptica (*FO*) se divide en partes iguales, de manera que una de las ramas se emplea en la etapa de realimentación, y el resto para obtener las medidas experimentales. El esquema completo del montaje se muestra en la Figura 4.4-2.

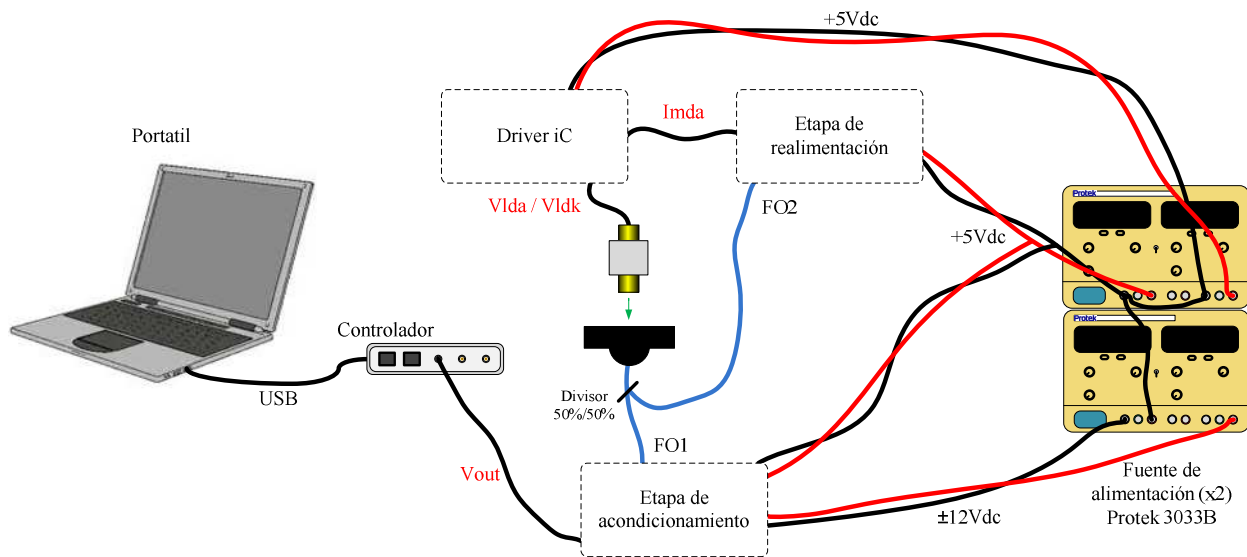


Figura 4.4-2: Esquema del montaje completo para obtener las medidas de estabilidad.

El objetivo de la etapa de realimentación es, por tanto, acondicionar la porción de señal que recibe el fotodetector ‘PH2’, para cerrar el lazo de control del circuito. Este, proporciona a su salida una corriente, que se aplica directamente al pin ‘MDA’ del driver. Se trata de un circuito de amplificación caracterizado principalmente por su bajo ruido y ancho de banda, donde el fotodiodo opera en modo fotovoltaico ($V_{AK}=0$). Su esquema se muestra en la Figura 4.4-3.

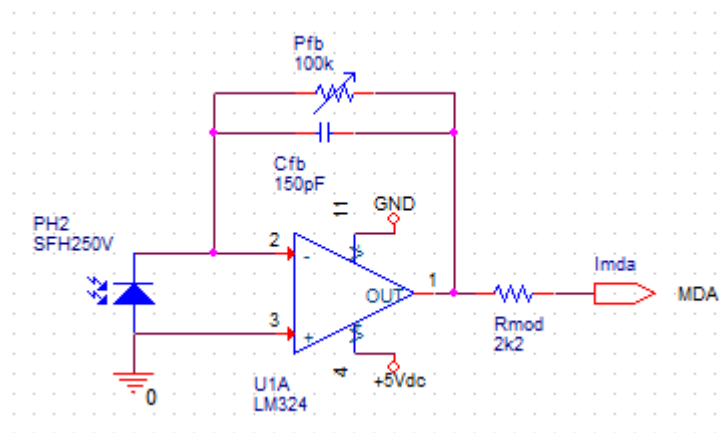


Figura 4.4-3: Etapa de realimentación.

El funcionamiento del circuito, se basa en la cantidad de luz que recibe el fotodetector ‘PH2’ a través de la fibra óptica que lleva acoplado. La corriente inversa generada, circula por el potenciómetro ‘Pfb’, de modo que, dependiendo de su valor, se obtiene mayor o menor tensión a la salida del amplificador. Así, la corriente de realimentación ‘Imda’ se define matemáticamente como:

$$I_{MDA} = (V_{AO_OUT} - V_{MDA}) / 2,2k\Omega = (I_{r_PH2} \cdot R_{Pfb} - 0,5V) / 2,2k\Omega$$

De este modo, la magnitud de la corriente aplicada al circuito de control puede variarse a través del potenciómetro ‘Pfb’, teniendo en cuenta que según las hojas de características del

integrado, el rango de la corriente de monitorización va de $10\mu\text{A}$ a $2,5\text{mA}$ para el *iC-WK/WKL* (Ver Anexo A), y de $2,5\mu\text{A}$ a $6,25\text{mA}$ para el *iC-WKN* (Ver Anexo B).

Por otro lado, para acondicionar la tensión de salida, se utiliza un circuito de amplificación en transimpedancia como el de la Figura 4.4-4.

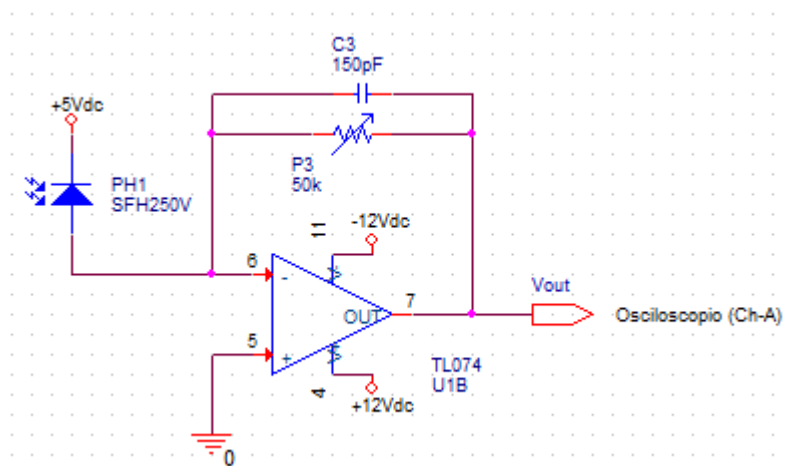


Figura 4.4-4: Etapa de acondicionamiento de salida.

Se trata de un convertor de corriente a tensión, donde la corriente de entrada, que circula por el potenciómetro 'P3', depende de la cantidad de luz que recibe el fotodetector 'PH1' a través de la fibra óptica que lleva acoplado. Por tanto, dependiendo del valor de resistencia fijado en el potenciómetro, se obtiene mayor o menor tensión a la salida del amplificador. Así, la tensión de salida ' V_{OUT} ' se define matemáticamente como:

$$V_{OUT} = -R_{Pfb} \cdot I_{r_PH2} = -R_{Pfb} \cdot S_{PH2} \cdot P_{IN}$$

Así, los componentes e instrumentos necesarios para la implementación del montaje se recogen en la Tabla 4.4-1:

Instrumento / Componente	Características
Láser DPSS	Ver Anexo D
Driver	iC-WK/WKL con booster
Fotodetector (x2)	Avago SFH250V
C3, C _{fb}	150pF (x2)
P3, P _{fb}	50kΩ, 100kΩ
Amplificador Operacional	LM324, TL074
Fibra óptica	Monomodo + divisor 50%/50% longitud=600mm
Fuente de alimentación DC (x2)	Protek 3033B
Multímetro	Wavetek meterman 5XL
Sistema de adquisición	Cleverscope CS328A

Tabla 4.4-1: Componentes e instrumentos utilizados durante la prueba de estabilidad.

El experimento, consiste en medir la tensión a la salida de la etapa de acondicionamiento (V_{OUT}), durante un periodo de tiempo concreto. El objetivo, es evaluar la estabilidad a partir de los valores obtenidos, dado que esta tensión depende directamente de la emisión del láser. Por tanto, se realiza a través del sistema de adquisición, un muestreo de la tensión de salida a intervalos de 5min durante un periodo 4h.

Al proceder a realizar la serie de medidas, se observa que la tensión de salida ' V_{OUT} ' presenta una oscilación de unos 60mV_{pp} de amplitud a 187kHz . Esta oscilación, queda reflejada en la Figura 4.4-5.

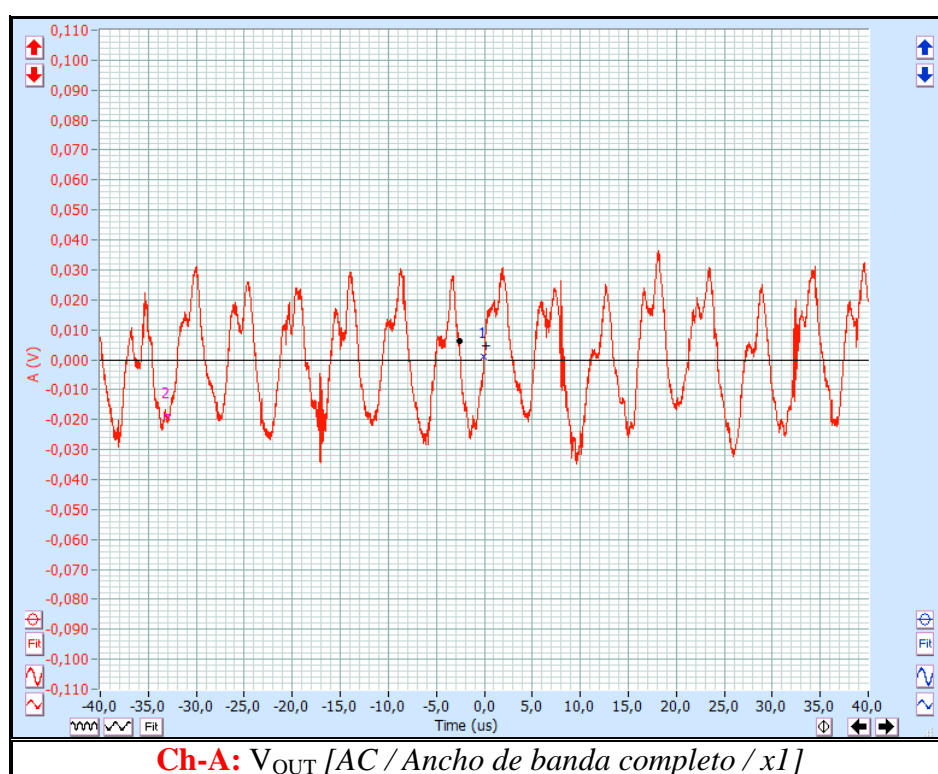


Figura 4.4-5: Oscilación a 187kHz de la tensión de salida V_{OUT} .

Aquí, se puede comprobar visualmente como al tratar de controlar por medio de este sistema un diodo láser que **no presenta fotodiodo monitor interno**, aparecen oscilaciones. Se observa durante la caracterización del circuito de control, que la oscilación detectada varía, dependiendo del caso, entre los 100 y los 200kHz . Esta situación, denominada como '*caso especial*', se trata a lo largo del apartado 3.2.3. En él, se estudia tanto el origen del problema de la oscilación, como la solución propuesta para eliminarlo.

Obviando este problema de forma temporal, dado que se trata de una pequeña oscilación comparada con el nivel de la señal ' V_{OUT} ' ($\sim 2\text{V}$), se puede proceder a realizar el estudio de estabilidad de emisión a través de su valor medio. Así, los datos experimentales obtenidos se representan en la Figura 4.4-6:

El valor medio de todos los datos tomados, representado por la línea granate, se sitúa en los 1,9568V. Teniendo en cuenta que los valores máximos y mínimos adquiridos, se corresponden con 1,960V y 1,955V respectivamente, se obtiene que las desviaciones con respecto al valor medio, no superan el **0,2%**.

$$\sigma_{\max} (\%) = \left((V_{OUT_max} - V_{OUT_med}) / V_{OUT_med} \right) \cdot 100 = ((1,960V - 1,9568V) / 1,9568V) \cdot 100 = 0,16\%$$

Sabiendo que, la resistencia ajustada en el potenciómetro 'P3' es $4k\Omega$, se puede calcular la potencia óptica que recibe la fibra óptica (FO). Para los fotodiodos, es habitual que además de facilitar su curva de sensibilidad relativa, el fabricante proporcione en las hojas de características del componente, la responsividad para alguna longitud de onda en particular (*Ver Anexo E*). De manera que así, a partir de ese dato y la curva de la Figura 2.1-5, se puede obtener la gráfica de estabilidad en términos de potencia óptica.

$$S_{PH2_650nm} = I_r / P_{IN} = 4,4\mu A / 10\mu W = 0,44mA / mW$$

$$S_{PH2_532nm} = S_{PH2_650nm} \cdot (0,5 / 0,76) = 0,44 \cdot (0,5 / 0,76) = 0,29mA / mW$$

$$P_{IN_FO} = (2 \cdot V_{OUT_med}) / (4000\Omega \cdot S_{PH2_532nm}) = (2 \cdot 1,9568V) / (4k\Omega \cdot 0,29) = 3,374mW$$

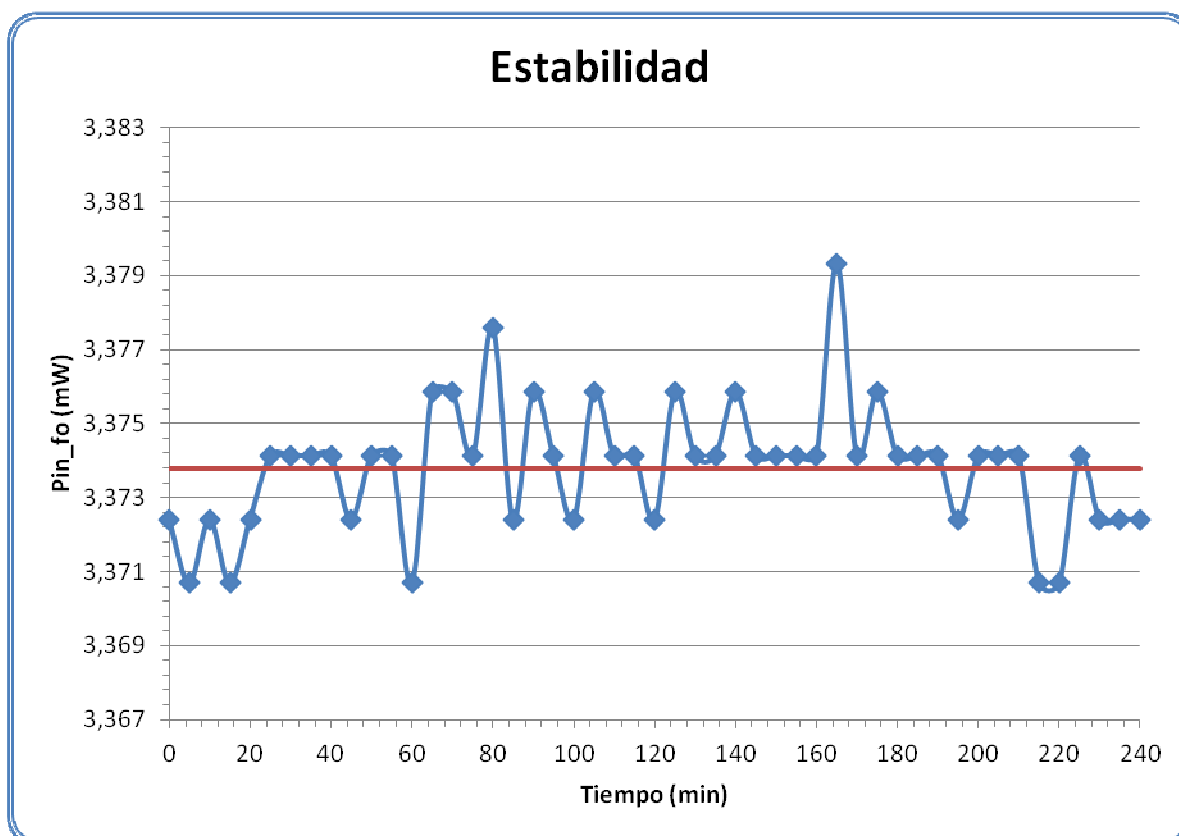


Figura 4.4-6: Estabilidad de emisión del 'caso especial' con iC-WK/WKL + booster.

Cabe mencionar, que la potencia emitida por el láser es ligeramente superior a la que recibe la fibra óptica (FO), dado que existen pérdidas en el acoplamiento que tiene lugar en la estación de posicionamiento de la Figura 4.4-1.

El valor de desviación obtenido (0,16%) se corresponde con el '*caso especial*', donde se alimenta el láser '*DPSS*' directamente por medio del circuito de control. Se puede comprobar como este cumple holgadamente sus especificaciones de estabilidad, las cuales establecen el nivel de desviación por debajo del 1,5%. Este resultado, aunque se obtiene para el '*DPSS*', es extrapolable a los diodos láser con fotodiodo monitor interno.

Estos integrados, al estabilizar en potencia media, realizan un excelente control independientemente del tipo de diodo láser que se conecte. Por desgracia, en este caso la operación conjunta del integrado y el láser '*DPSS*', al presentar estas oscilaciones, hacen que el sistema de control no sea válido para iluminar sistemas de instrumentación optoelectrónicos.

Por tanto, ante este contratiempo, se procede a la conexión del circuito de adaptación del driver a fuente de corriente constante especificado en el apartado 3.2.3. Tal y como se puede comprobar en su esquemático detallado, a través de este adaptador se alimenta tanto el driver (*iC-WKN en este caso*) como el láser '*DPSS*'.

Se pretende realizar con este montaje un estudio de estabilidad, en este caso durante 2h a intervalos de 2min, para analizar el nivel de estabilidad alcanzado con este adaptador. En este caso, el haz de luz emitido se orienta directamente al medidor de potencia modelo '*Newport 815 series*' obteniendo así las medidas representadas en la Figura 4.4-7.

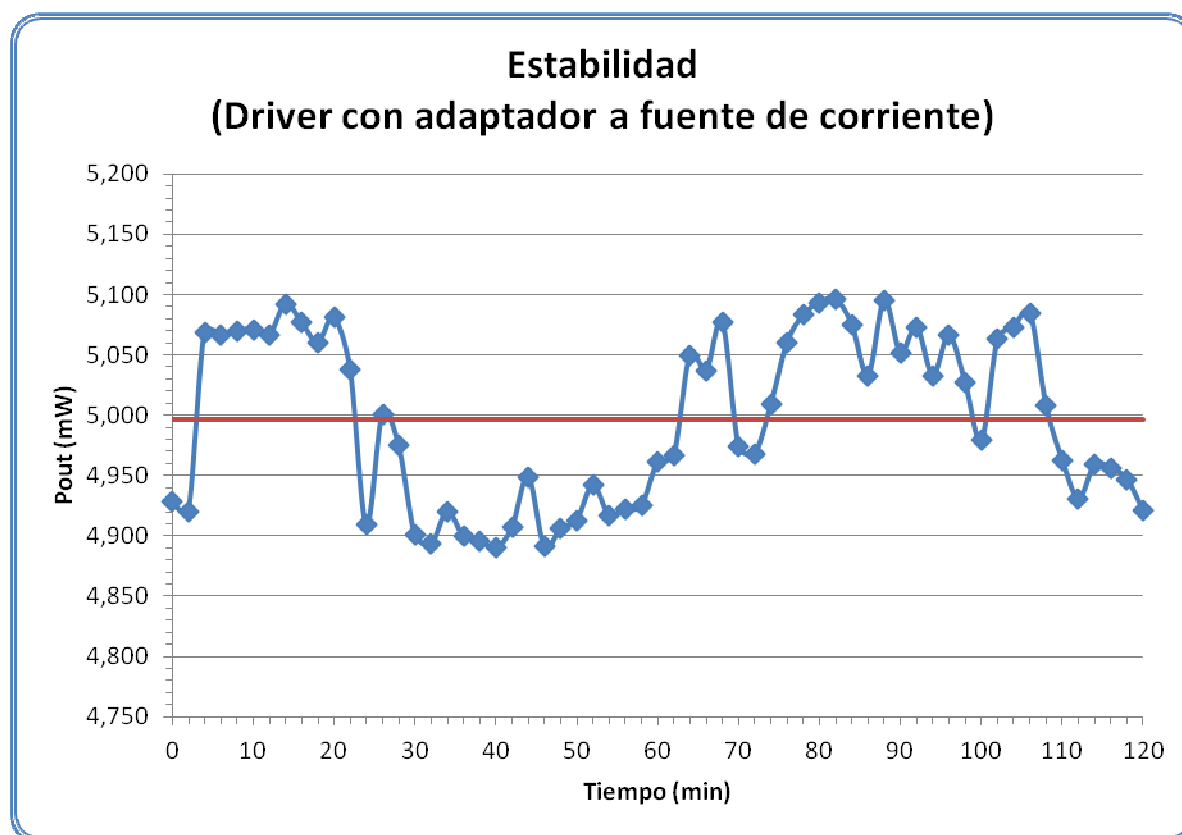


Figura 4.4-7: Estabilidad de emisión del '*caso especial*' con fuente de corriente constante.

El valor medio de todos los datos tomados, representado por la línea granate, se sitúa en los 4,9969mW. Teniendo en cuenta que los valores máximos y mínimos adquiridos, se corresponden con 5,096mW y 4,890mW respectivamente, se obtiene que las desviaciones con respecto al valor medio, no superan el **2,2%**.

$$\sigma_{\max} (\%) = \left((P_{OUT_med} - P_{OUT_min}) / P_{OUT_med} \right) \cdot 100$$
$$\sigma_{\max} (\%) = \left((4,9969mW - 4,890mW) / 4,9969mW \right) \cdot 100 = 2,14\%$$

A la vista de los resultados obtenidos, se puede comprobar cómo al controlar por medio del adaptador a fuente de corriente, se pierde el nivel de estabilidad alcanzando con los integrados *iCs*, pero se consiguen eliminar las oscilaciones. Aún así, el nivel de desviación permanece dentro de un rango aceptable.

4.5. Aplicación práctica.

Una aplicación práctica del estudio de estabilidad detallado con anterioridad, es que si la fuente de iluminación está caracterizada por una emisión estable, la visibilidad del patrón en un interferómetro sometido a una perturbación periódica, también permanecerá constante a lo largo del tiempo. Para ello, se monta un interferómetro Michelson (*propagación por aire*) como el de la Figura 2.2-3 sobre una mesa óptica de granito ($120 \times 120 \text{ cm}$), donde la perturbación se origina por medio de un piezoeléctrico acoplado al espejo de uno de los brazos.

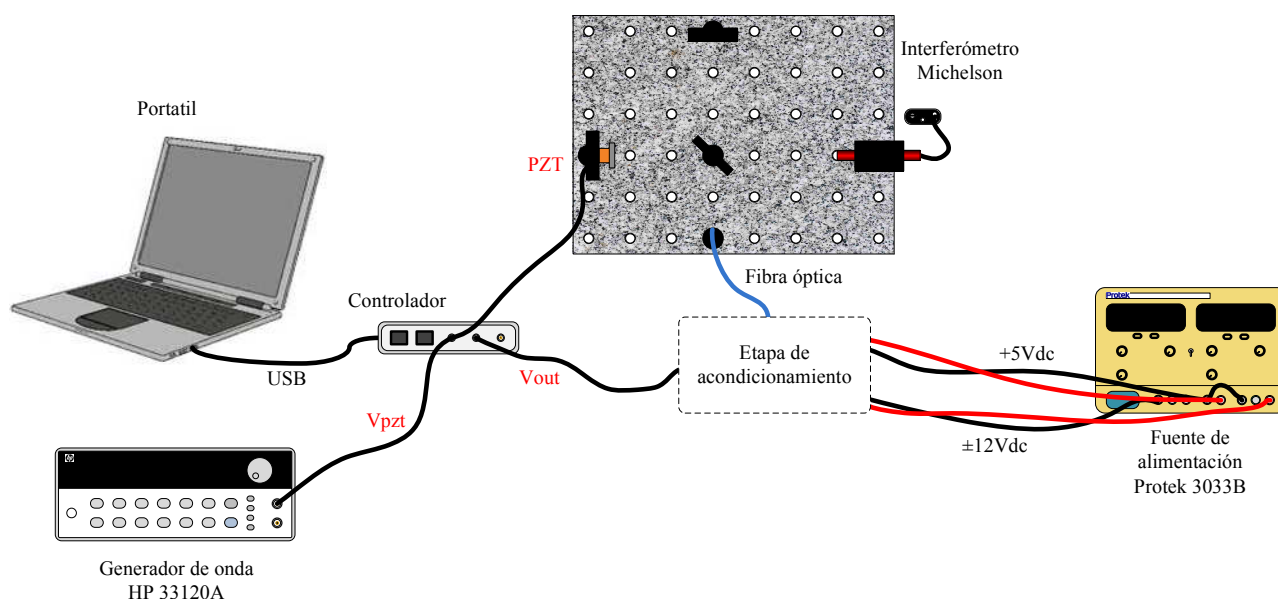


Figura 4.5-1: Esquema del montaje completo con láser He-Ne.

El primer paso es verificar que tanto el interferómetro como la electrónica funcionan correctamente. Para ello, se emplea una fuente láser He-Ne ($P=4 \text{ mW}$ y $\lambda=633 \text{ nm}$) por tratarse de una fuente coherente y fácil de utilizar. Es necesario además, un soporte mecánico que fije horizontal y verticalmente el láser, evitando así cualquier posible desalineamiento del haz. En la Figura 4.5-2 se muestra un detalle de ambos componentes.

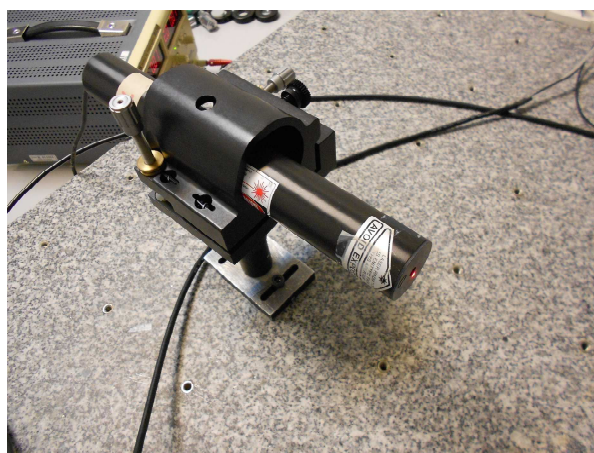


Figura 4.5-2: Láser He-Ne y estación de posicionamiento.

Tal y como se observa en ella, aparte de la fuente láser, el sistema interferométrico está compuesto por un divisor de haz y dos espejos de una pulgada ($1''[25,4mm]$) de diámetro. Con ese posicionamiento, el láser ilumina directamente el divisor de haz, que debido a sus propiedades ($50\%/50\%$), reparte la potencia óptica incidente entre los dos brazos del sistema. Cada uno de los haces resultantes incide sobre el espejo de su brazo correspondiente y es reflejado en dirección al divisor para originar la interferencia. La distribución acotada de todos los componentes ópticos que forman parte del sistema puede observarse con detalle en la Figura 4.5-3.

Uno de los espejos es montado sobre un piezoeléctrico. Este cristal (*PZT*), se caracteriza por responder a un estímulo eléctrico con una deformación mecánica que, en este caso, provoca un desplazamiento longitudinal del espejo (Δl). Esta alteración del camino óptico en uno de los brazos, da lugar a la aparición de variaciones en las franjas del patrón de interferencia.

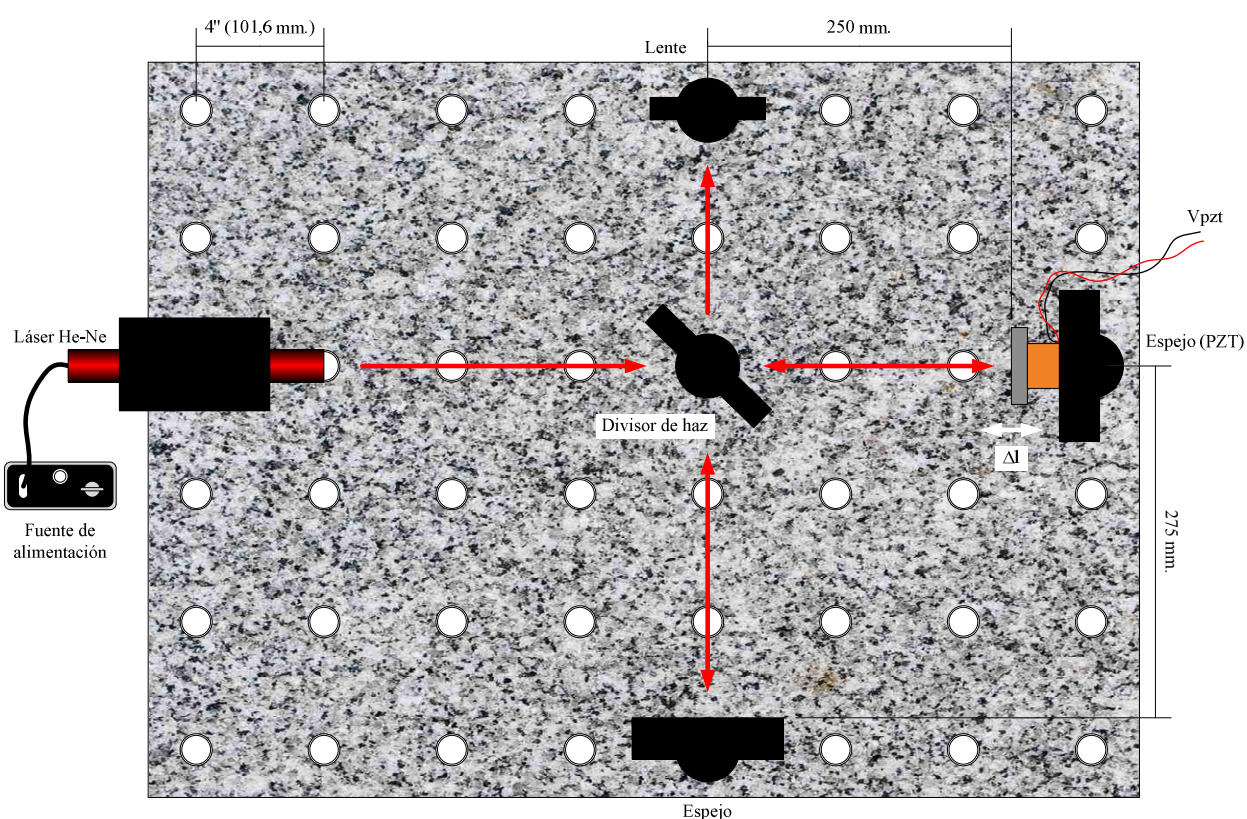


Figura 4.5-3: Esquema del sistema interferométrico.

Tanto la fuente láser como los componentes ópticos son montados sobre soportes optomecánicos (*bases, monturas, postes...*) que permiten su correcto posicionamiento. La mesa en cuestión, presenta unos taladros distribuidos a lo largo de su superficie, de manera que guardan una distancia exacta entre sí de $4'' (101,6mm)$. Es en estos taladros, donde van atornilladas las bases de los soportes, quedando así fijada la posición del componente.

Tal y como se aprecia en la Figura 4.5-3, la distancia entre los dos espejos y el divisor de haz no es la misma aunque la distancia entre sus bases mecánicas si lo es. Esta diferencia de camino óptico provoca, que el patrón que se obtiene esté caracterizado por presentar interferencias (*franjas*) en ausencia de perturbaciones.

En la Tabla 4.5-1 se resumen las principales características de la instrumentación y los componentes electrónicos y ópticos utilizados en este montaje experimental.

Instrumento / Componente	Características
Láser He-Ne	Unphasse ($4mW$, $\lambda=633nm$)
Divisor de haz	$\phi_{cristal}=1"$, 50%/50%
Espejo (x2)	$\phi_{cristal}=1"$ (25,4mm)
Lente	$\phi_{cristal}=1"$, M6, 1/4-20
Fibra óptica de plástico (POF)	$\phi_{nucleo}=1mm$ $\phi_{cubierta}=2,2mm$ longitud=600mm
Fotodetector	Avago SFH250V
Amplificador Operacional	TL074
P5	50k Ω
Fuente de alimentación DC (Triple)	Protek 3033B
Multímetro	Wavetek meterman 5XL
Generador de onda	HP 33120A
Sistema de adquisición	Cleverscope CS328A

Tabla 4.5-1: Componentes e instrumentos utilizados durante la aplicación práctica (1ª parte).

Una vez los componentes están posicionados de acuerdo al esquema de la Figura 4.5-3 se procede al alineamiento del sistema. Se trata de un proceso laborioso para lograr que los haces de salida se copropaguen en la misma dirección, y obtener así una alta visibilidad del patrón interferencial. Se lleva a cabo con la ayuda de dos tornillos de paso micrométrico presentes en las monturas de los espejos y el divisor, que permiten una rotación en dos direcciones del componente en cuestión.

Durante el alineamiento, se coloca a la salida del sistema una lente para obtener una imagen aumentada del patrón y así facilitar el alineamiento. Es necesario alinear los haces de salida a diferentes distancias, para asegurarse de que la interferencia se produce continuamente y no solo en un punto. Es decir, asegurarse de alcanzar una óptima copropagación de los haces.

Cabe destacar que debido a la alta sensibilidad del sistema interferométrico, es inevitable tener que realinearlo diariamente dado que las condiciones ambientales (*temperatura, presión y/o vibraciones mecánicas*) que lo rodean tienden a desalinearlo. El patrón obtenido tras el alineamiento del sistema puede verse en la Figura 4.5-4.



Figura 4.5-4: Patrón interferométrico inicial [Izda.] y orden cero del sistema [Dcha.].

Justo como se apuntaba anteriormente, se puede observar en la parte izquierda de la Figura 4.5-4, como la imagen inicial obtenida a la salida del interferómetro presenta interferencias como resultado de la diferencia de camino óptico inicial existente entre los dos brazos. Aun así, se trata de obtener el orden cero del sistema durante el alineamiento para compensar la diferencia de camino óptico inicial.

Una vez que los haces de salida son alineados, se sustituye la lente por un latiguillo de fibra óptica de plástico. El objetivo es, transportar la potencia óptica hasta el fotodetector 'Avago SFH250V' donde es acoplada. El fotodetector, al ser iluminado, genera una corriente que circula por el potenciómetro 'P5'. El esquema del circuito implementado se muestra en la Figura 4.5-5.

La misión del 'AO' TL074 como seguidor de tensión, es eliminar los efectos de carga ya que presenta una impedancia de entrada infinita. Por tanto, la salida del circuito va a depender directamente del valor de resistencia fijado en el potenciómetro 'P5' y las características propias del fotodetector (*responsividad*). Aquí, tanto la alimentación del amplificador como los $+5V_{DC}$ se obtienen de la misma fuente de alimentación.

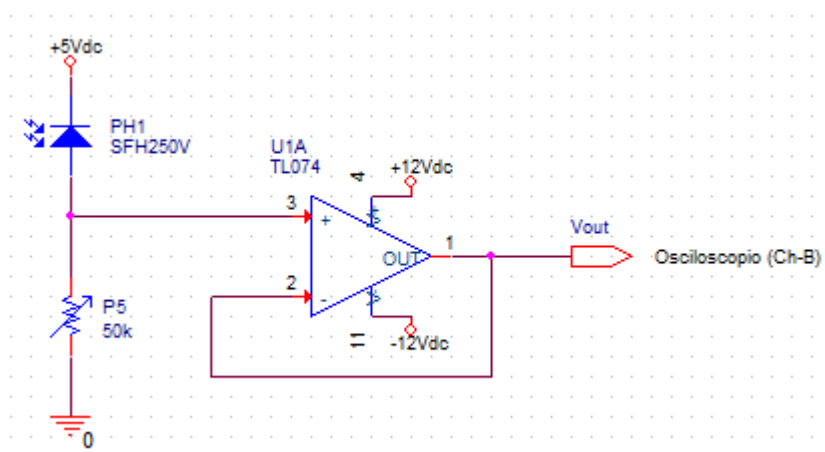


Figura 4.5-5: Etapa de acondicionamiento de salida.

A continuación, se alimenta el piezoeléctrico mediante un generador de onda 'HP 33120A'. El estímulo aplicado consiste en una señal senoidal cuyos principales parámetros se detallan en la Figura 4.5-6.

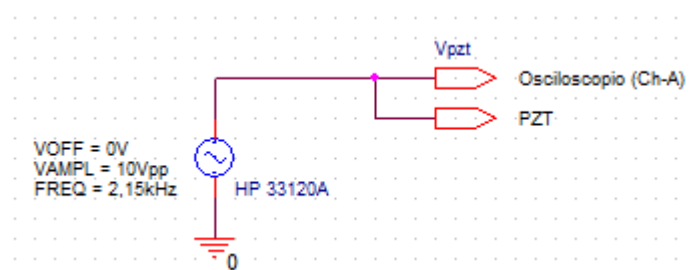


Figura 4.5-6: Estímulo aplicado al PZT.

El espejo se desplazará en una dirección cuando el estímulo aplicado sea positivo y en la dirección opuesta en caso contrario. Además, cuanto mayor sea la amplitud de la señal senoidal mayor será su desplazamiento.

La frecuencia de 2,15kHz se corresponde con la frecuencia de resonancia del *PZT*. Para hallarla, se realizó un barrido en frecuencia con el generador de onda hasta el punto de máximo desplazamiento del espejo. En este punto, se observa a través del sistema de adquisición Cleverscope, que para un estímulo de amplitud fija, la señal de salida del circuito de acondicionamiento presenta más fluctuaciones que para cualquier otra frecuencia (*Ver Tabla 4.5-2*).

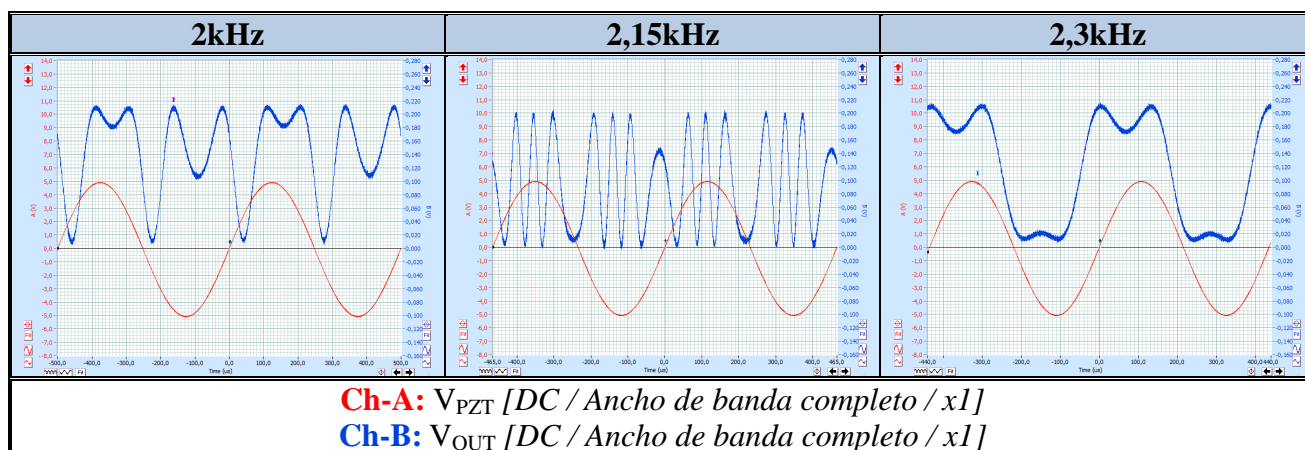


Tabla 4.5-2: Respuesta del sistema ante estímulos de diferente frecuencia.

El desplazamiento del espejo asociado a la frecuencia de resonancia, nos permite obtener un mayor número de muestras en la señal de salida del interferómetro (V_{OUT}). De este modo, disponemos de más puntos de máxima amplitud para discriminar con mayor facilidad si la visibilidad del sistema es estable o no. Por lo tanto, tras esta comparación, se utiliza la frecuencia de 2,15kHz al estimular al '*PZT*'.

A través de las oscilaciones de la señal de salida ' V_{OUT} ', podemos obtener el desplazamiento experimentado por el espejo ya que, el intervalo de tiempo transcurrido entre dos máximos consecutivos de la señal equivale al tiempo que tarda el espejo en desplazarse una distancia igual a la longitud de onda del láser, en nuestro caso 633nm. En la Figura 4.5-7 se representa de un modo más visual la variación que experimenta el patrón de interferencia ante un desplazamiento del espejo de λ y su relación con la señal obtenida.

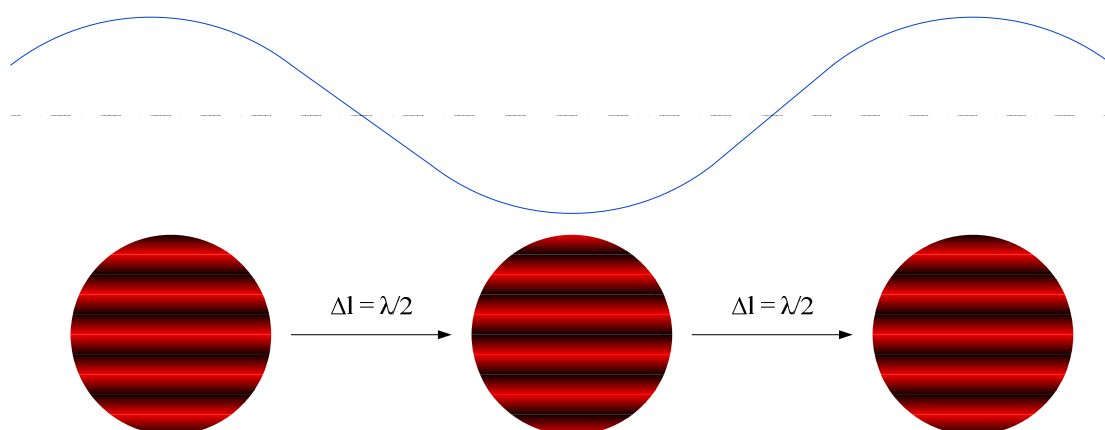


Figura 4.5-7: Correspondencia entre la señal V_{OUT} y el movimiento de las franjas.

Cabe mencionar, que una perturbación de 2,15kHz no es apreciable a simple vista, aunque sí es perceptible acústicamente si la amplitud es adecuada. Al reducir la frecuencia de la perturbación hasta las décimas de hertzio, se puede observar como las franjas del patrón de interferencia se desplazan en sentido ascendente o descendente, dependiendo de la dirección de desplazamiento del espejo, tal y como refleja la Figura 4.5-7.

La señal interferométrica resultante del sistema se refleja en la Figura 4.5-8. Esta captura, prueba como la amplitud de la señal se mantiene constante para una fuente láser de He-Ne. Tal y como hemos mencionado con anterioridad, se puede observar como cuando el estímulo senoidal pasa por cero, el espejo cambia de dirección de desplazamiento. En este caso, el desfase entre ambas señales es pequeño, por lo que se puede apreciar también, como a medida que la señal senoidal alcanza su máximo, el desplazamiento es mayor. Es decir, que la frecuencia de oscilación de la señal ' V_{OUT} ' aumenta.

El desfase entre ambas señales, puede ser mayor o menor dependiendo de la posición de partida del espejo (PZT). Si este es muy grande, se dificulta en gran medida el análisis de la señal ya que se pierde con totalidad la correlación entre ambas.

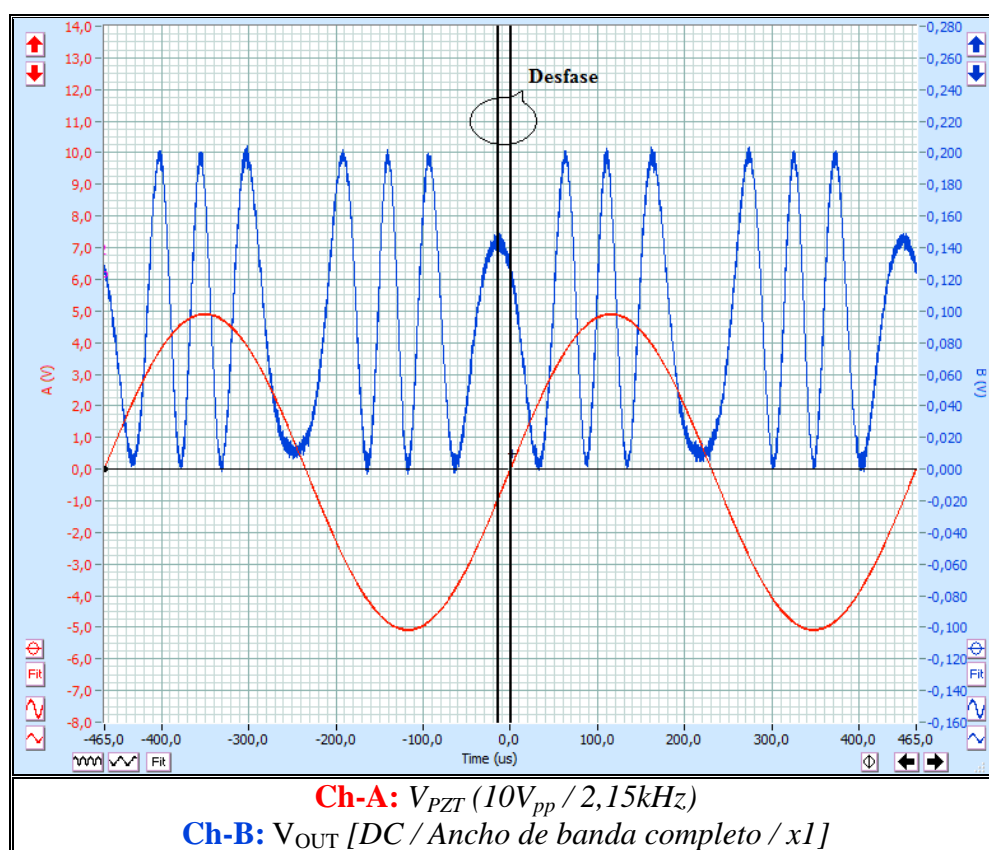


Figura 4.5-8: Respuesta del sistema ante un estímulo de 2,15kHz.

Los valores máximo y mínimo de la señal pueden variar levemente debido al ruido ambiental o por las condiciones atmosféricas de entorno. En este caso, la oscilación de la señal V_{OUT} está comprendida entre 0 y 200mV. Teniendo en cuenta que en el circuito de acondicionamiento de la Figura 4.5-5, se ha fijado el valor del en 8,85k Ω , podemos obtener la cantidad de luz que recibe el fotodetector:

$$V_{OUT_max} = 0,2V = I_{r_PH1} \cdot R_{P5}$$

$$I_{r_PH1} = V_{OUT_max} / R_{P5} = 0,2V / 8,85k\Omega = 22,60\mu A$$

A partir de las propiedades eléctricas indicadas en las hojas de características del fotodiodo *SFH250V* (Ver Anexo E), se puede obtener su responsividad para una longitud de onda de 650nm. No coincide exactamente con la del láser He-Ne utilizado (633nm), pero es una aproximación válida.

$$S_{PH1_650nm} = I_r / P_{IN} = 4,4\mu A / 10\mu W = 0,44mA / mW$$

Con los datos presentados con anterioridad, ya se puede calcular la potencia óptica que es transportada por la fibra óptica de plástico a la salida del sistema interferométrico.

$$P_{IN_POF} = I_{r_PH1} / S_{PH1_650nm} = 22,60\mu A / (0,44\mu A / \mu W) = 51,36\mu W$$

Este valor indica que estamos aprovechando solo un **2,57%** de la señal, ya que idealmente, de los 2mW de salida, únicamente 51,36μW son transportados al fotoreceptor. La mayoría de estas pérdidas se producen debido a la inserción de la luz en la fibra. Aun así, se trata de una cantidad manejable, ya que mediante el ajuste del potenciómetro 'P5', se puede observar claramente la estabilidad de la emisión a través del sistema de adquisición.

A continuación, en la Figura 4.5-9, se muestra una instantánea real tomada durante la comprobación del montaje completo.

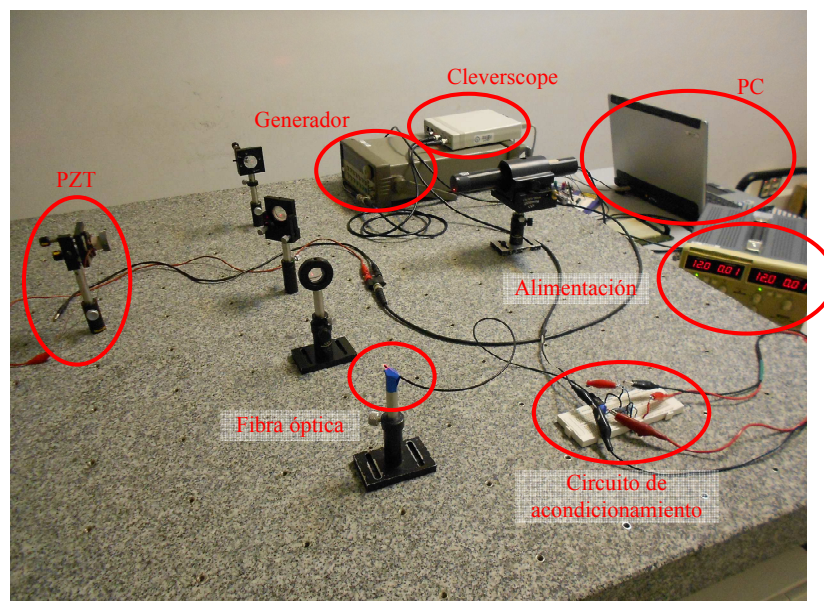


Figura 4.5-9: Detalle del montaje realizado en la aplicación práctica (1ª parte).

Una vez que la funcionalidad del montaje ha sido verificada, se sustituye el láser de He-Ne por el láser 'DPSS' regulado con el driver *iC*, para analizar su estabilidad en potencia durante un largo periodo de tiempo y observar así, como la señal interferométrica se mantiene constante. Ya se ha comprobado previamente, como la potencia de emisión del este diodo láser se mantiene estable al alimentarlo a través del circuito de control. En esta ocasión, se pretende evaluar la estabilidad a través de la visibilidad del patrón de interferencia. Todos los componentes y/o instrumentación que se necesita para realizar el experimento se detallan en la Tabla 4.5-3.

Instrumento / Componente	Características
Láser DPSS	10mW, $\lambda=532\text{nm}$
Driver	iC-WK/WKL con booster
Divisor de haz (x2)	$\phi_{\text{cristal}}=1"$, 50%/50%
Espejo (x2)	$\phi_{\text{cristal}}=1"$ (25,4mm)
Lente	$\phi_{\text{cristal}}=1"$, M6, 1/4-20
Fibra óptica de plástico (POF) (x2)	$\phi_{\text{nucleo}}=1\text{mm}$ $\phi_{\text{cubierta}}=2,2\text{mm}$ longitud=600mm
Fotodetector (x2)	Avago SFH250V
Amplificador Operacional	TL074, LM324
P5, P _{fb}	50k Ω , 100k Ω
C _{fb}	150pF
Fuente de alimentación DC (x2)	Protek 3033B
Multímetro	Wavetek meterman 5XL
Generador de onda	HP 33120A
Sistema de adquisición	Cleverscope CS328A

Tabla 4.5-3: Componentes e instrumentos utilizados durante la aplicación práctica (2ª parte).

Al utilizar el láser 'DPSS', al igual que en la prueba de estabilidad en potencia, es necesario extraer de alguna forma parte de la potencia óptica emitida, y utilizarla como realimentación del circuito, tras acondicionarla de forma adecuada. Las modificaciones introducidas en el sistema interferométrico se muestran en la Figura 4.5-10.

Se realiza por tanto, una división de amplitud adicional a través de un segundo divisor de haz, para desviar un 50% de la señal emitida por el láser. Una porción de la señal desviada, se recoge por medio de un latiguillo de fibra óptica de plástico (POF2) acoplada a un poste óptico, para ser transportada a la etapa de realimentación. Al introducir el segundo divisor, provocamos que la potencia óptica a la salida del interferómetro, disminuya hasta el 25% de la potencia emitida por el diodo láser.

El resto del sistema interferométrico permanece inalterado. Se vuelve a utilizar la lente a la salida del interferómetro, para facilitar el alineamiento, y posteriormente se sustituye por otro latiguillo de fibra óptica (POF1) para acondicionar la señal antes de introducirla en el sistema de adquisición. El montaje completo se encuentra en la Figura 4.5-11.

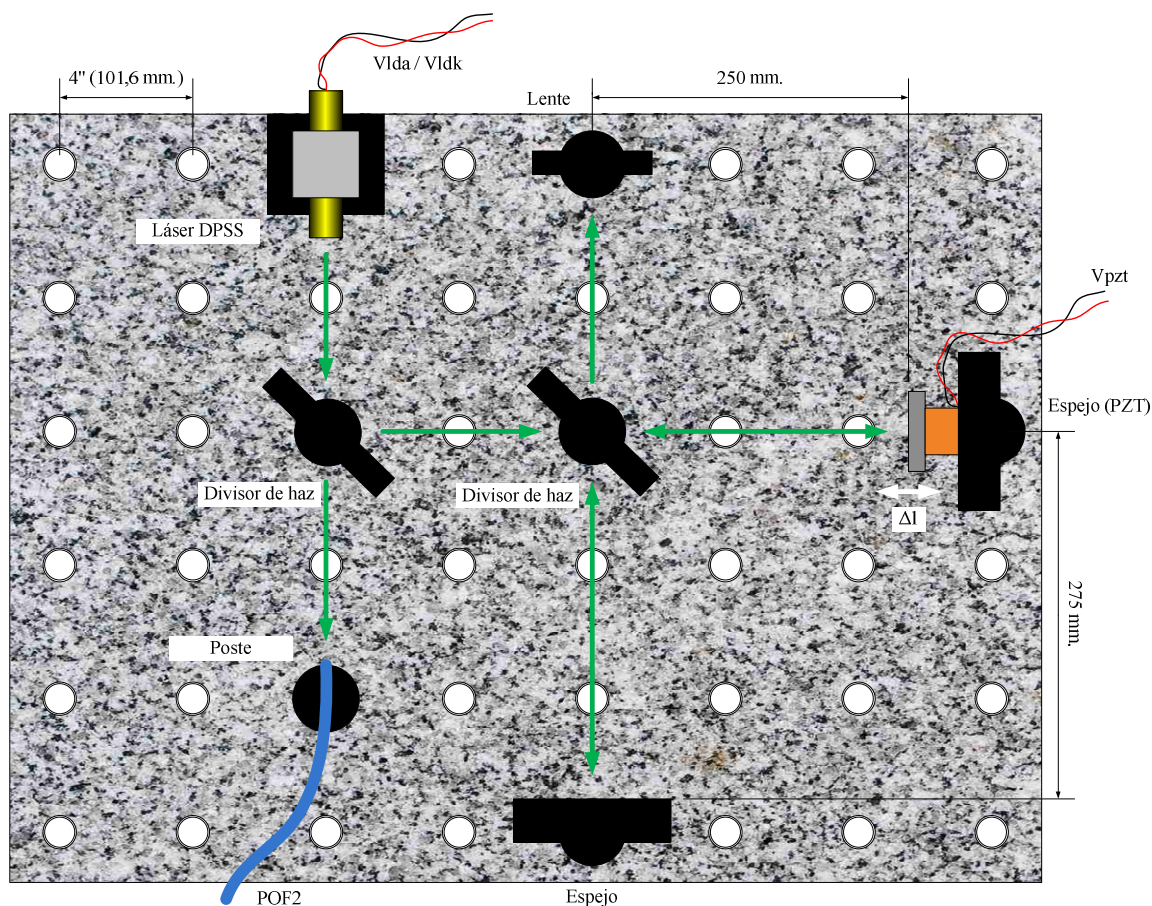


Figura 4.5-10: Modificaciones introducidas en el sistema interferométrico.

Cabe mencionar, que siempre se intenta alimentar el driver de forma aislada, tanto para conseguir un control independiente de su consumo, como para evitar, que al estar sujeto a frecuentes encendidos y apagados, estos afecten a varias etapas del montaje. Por eso, encontramos dos líneas de alimentación de $+5V_{DC}$.

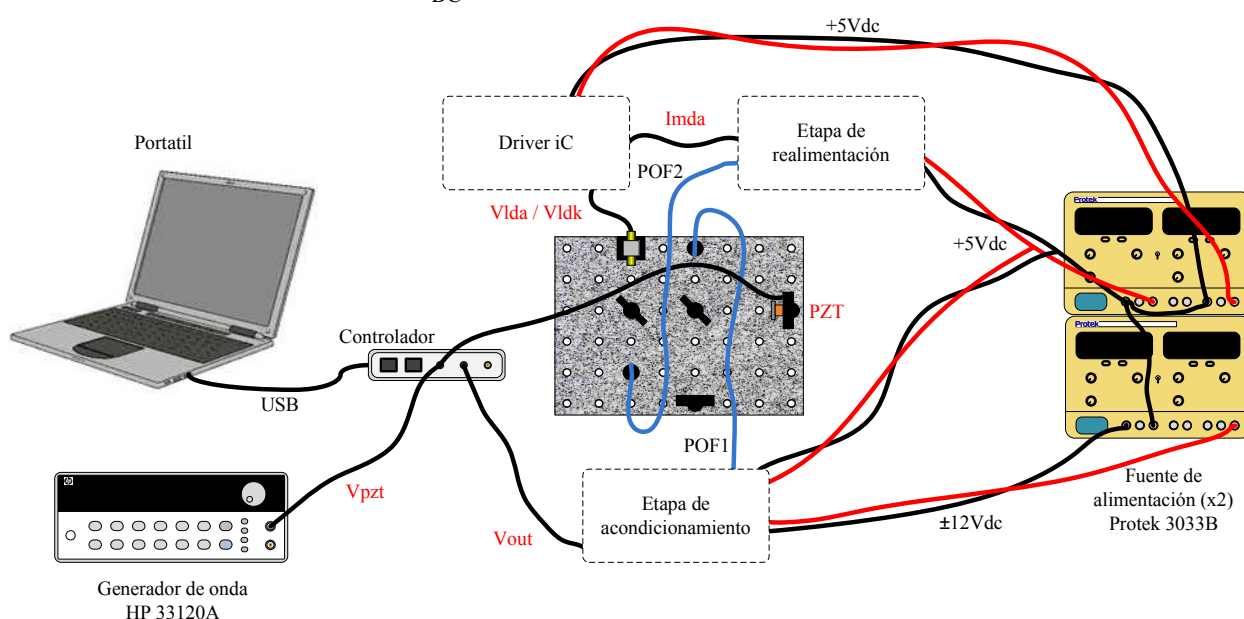


Figura 4.5-11: Esquema del montaje completo con diodo láser DPSS.

Como etapa de realimentación, se utiliza un circuito amplificador como el de la Figura 4.4-3, ya que se ha probado que con el fotodiodo (*PH2*) operando en modo fotovoltaico ($V_{AK}=0$), el lazo de control se cierra de forma correcta.

Estas variaciones comentadas, son las únicas modificaciones realizadas con respecto al montaje inicial. Esto es, que tanto la alimentación del piezoeléctrico, como la etapa de acondicionamiento de salida, se corresponden con la Figura 4.5-6 y Figura 4.5-5 respectivamente.

Al adquirir la respuesta interferométrica (V_{OUT}) como resultado de aplicar el estímulo senoidal al piezoeléctrico, se observa, con el montaje descrito con anterioridad, como su forma de onda característica presenta una oscilación, en este caso en torno a 129kHz, que la desvirtúa. La señal se detalla en la Figura 4.5-12.

Tal y como se ha apuntado con anterioridad, éste comportamiento anómalo aparece siempre que el diodo láser **no presenta fotodiodo monitor integrado** (*caso especial*) y por tanto, es preciso cerrar el lazo de realimentación externamente por medio de un circuito de acondicionamiento.

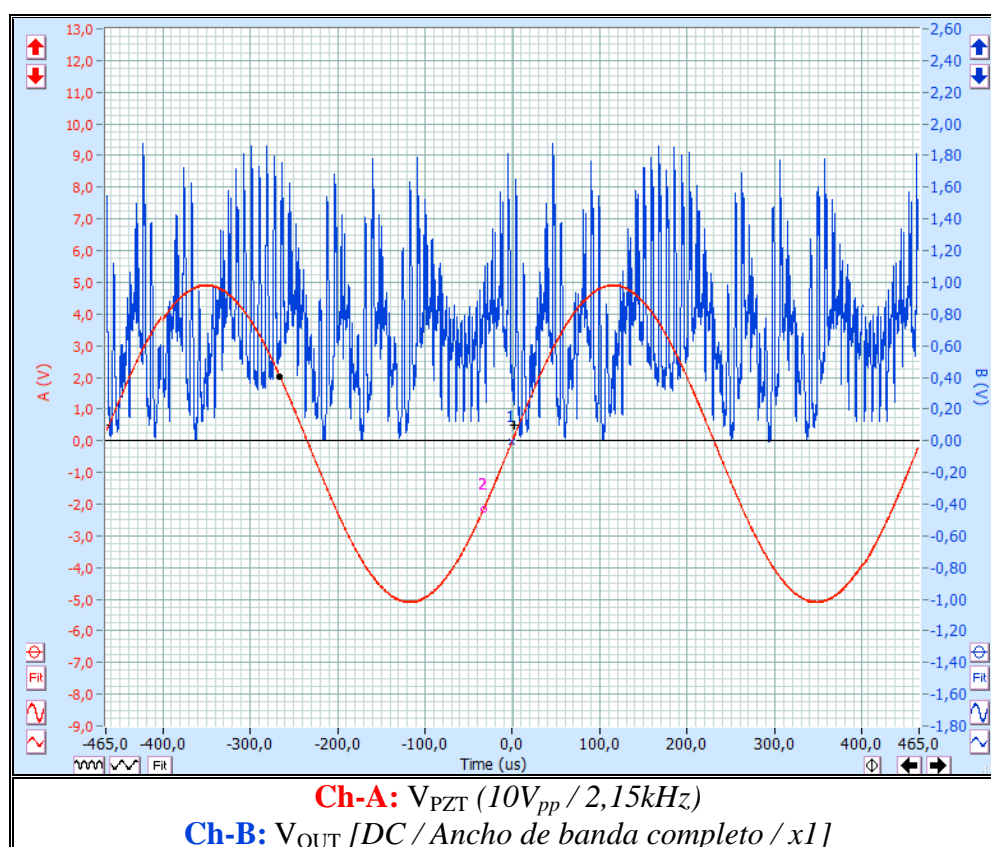


Figura 4.5-12: Respuesta del sistema al iluminarlo con el diodo DPSS.

En este punto del desarrollo de la aplicación práctica, se trata de eliminar la oscilación aumentando la capacidad del condensador '*Ci*', tal y como indican los diseñadores. Con ello, se pretende variar el polo del sistema realimentado que genera este condensador, y ver si de este modo se puede recuperar la situación estabilidad de operación.

Por tanto, se conectan diferentes condensadores dentro del rango comprendido entre los 100nF a 100μF, sin apreciar ninguna mejora sustancial. Se observa una variación tanto en la amplitud de la oscilación como en la frecuencia (100 - 200kHz), pero en ningún caso significativas.

Por otro lado, también se procede a variar el modelo del fotodiodo utilizado por ver si con distintos valores de capacidad, de velocidades de respuesta, y por último, de la distancia existente entre este y el diodo láser se consigue mejorar la situación, pero el problema persiste.

No queda otra alternativa, que conectar al driver el adaptador a fuente de corriente constante para eliminar la oscilación, al igual que se ha procedido en el apartado anterior. Al no necesitar lazo de realimentación a través del fotodiodo monitor, se ubica el láser 'DPSS' apuntando directamente al interferómetro Michelson, por lo que se recupera un montaje similar realizado para el láser de He-Ne. (Ver Figura 4.5-1). Los valores de estabilidad adquiridos con esta configuración se representan en la Figura 4.5-13.

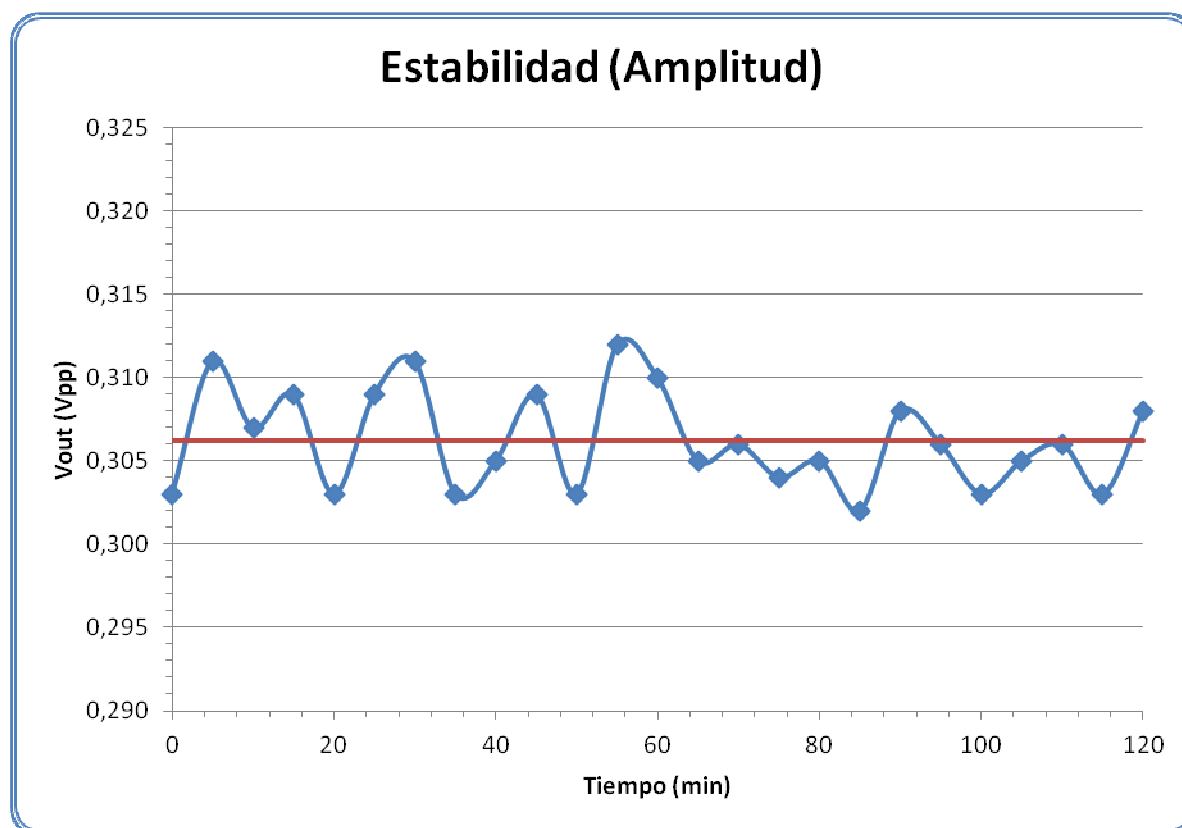


Figura 4.5-13: Estabilidad de la amplitud de la señal de respuesta interferométrica.

El valor medio de todos los datos tomados, representado por la línea granate, se sitúa en los 0,3062V_{pp}. Teniendo en cuenta que los valores máximos y mínimos adquiridos, se corresponden con 0,312V_{pp} y 0,302V_{pp} respectivamente, se obtiene que las desviaciones con respecto al valor medio, no superan el 2%.

$$\sigma_{\max} (\%) = \left(\frac{V_{OUT_max} - V_{OUT_med}}{V_{OUT_med}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{(0,312V - 0,3062V)}{0,3062V} \right) \cdot 100 = 1,89\%$$

Nuevamente, se obtiene un peor dato de estabilidad al controlar el láser por medio de una fuente de corriente constante.

A continuación antes de concluir este apartado, se añade la Figura 4.5-14 donde queda reflejado el adaptador a fuente de corriente utilizado para controlar el diodo láser 'DPSS'.



Figura 4.5-14: *Detalle del adaptador externo a fuente de corriente empleado.*

4.6. Conclusiones.

A la vista de los resultados obtenidos a lo largo de la caracterización del sistema de control diseñado, queda comprobado su correcto funcionamiento bajo una situación genérica, en la que el encapsulado del diodo láser presenta tres o cuatro terminales de conexión.

En este caso, los driver de iC-Haus utilizados cumplen con sus especificaciones de fábrica y en particular, cumplen con un amplio margen la condición de 1,5% de estabilidad, situándose las desviaciones medidas por debajo del 0,2%. Este resultado, aunque se obtiene para el láser 'DPSS', es extrapolable a los diodos láser con fotodiodo monitor interno.

Sin embargo, para la situación especial definida, se han observado las incompatibilidades comentadas en el apartado 3.2.3, cuando operamos con un diodo láser sin fotodiodo monitor. Este hecho, provoca que el conjunto no sea válido como fuente de iluminación en sistemas de instrumentación optoelectrónicos basados en modulación de fase o amplitud.

Se ha tratado de eliminar esta oscilación incidiendo en sus posibles orígenes dejando a un lado la influencia del propio láser 'DPSS'. De este modo, se ha modificado el valor del condensador ' C_i ' y utilizado diferentes modelos de fotodiodos, sin obtener un resultado favorable.

No queda otra alternativa para controlar un láser 'DPSS' sin fotodiodo monitor, que alimentarlo a través de una fuente de corriente constante debido a su elevado tiempo de respuesta. Con esta solución, se consiguen eliminar las oscilaciones, pero se pierde el control de potencia óptica media, provocando que sus desviaciones empeoren hasta valores cercanos al 2% - 2,5%.

Capítulo 5. Conclusiones finales y trabajos futuros.

Una vez remarcadas las desventajas asociadas al uso de los diodos láser como fuente de iluminación de sistemas de instrumentación optoelectrónicos, se recomienda utilizar para su control un circuito de acondicionamiento basado en la funcionalidad de un integrado. Ya que, además de contribuir a la estabilización de la potencia óptica emitida por el diodo láser a través de su lazo de realimentación, está dotado de mayor versatilidad y proporciona mayor protección, que un circuito diseñado a partir de componentes discretos.

En concreto, los integrados de la compañía iC-Haus seleccionados por su coste y sencillez, están dotados de las siguientes propiedades adicionales:

- Protección contra polarización inversa
- Apagado permanente ante exceso de corriente, temperatura o *ESD*
- Protección ante transitorios
- Posibilidad de incorporar modulación en corriente

De los dos integrados empleados, el *iC-WKN* es el que tiene un mayor rango de aplicación. Es capaz de regular la emisión del diodo siempre que la corriente de operación no supere los 300mA, mientras que el otro integrado (*iC-WK/WKL*), está orientado al control de diodos láser de baja potencia ($I_F < 90mA$).

Para ampliar el rango de aplicación de este último, se decide incorporar un booster que soporte la corriente adicional, permitiéndole de este modo, regular diodos de mayor potencia sin sufrir daño alguno.

Con la realización de las pruebas funcionales, se verifica que ambos circuitos de control operan según lo especificado por el fabricante. Destacando, que la estabilidad alcanzada bajo una ‘situación genérica’ y con la ayuda de un sistema de refrigeración apropiado (*disipador, cooler, etc.*) para el diodo láser, presenta una variación inferior al 0,2%. Cabe destacar, que este resultado, aunque se obtiene para el ‘*DPSS*’, es extrapolable a los diodos láser con fotodiodo monitor interno (*caso genérico*). De este modo, se valida el uso del circuito de acondicionamiento diseñado en sensores de fibra con modulación de amplitud o de fase.

Estos integrados en particular, están orientados al control de láseres de tipo semiconductor (*diodos láser*), los cuales en general son dispositivos caracterizados por un bajo tiempo de respuesta. Al tratar de controlar un láser de otro tipo, se corre el riesgo de que aparezcan comportamientos indeseados como sucede en el caso del láser ‘*DPSS*’.

En nuestro ‘*caso especial*’, se emplea un diodo láser ‘*DPSS*’ de 10mW que presenta estas oscilaciones cuando se cierra el lazo de control a través de un fotodiodo externo, lo cual se atribuye a su elevado tiempo de respuesta. Por tanto, la única alternativa de control es alimentarlo a través del circuito de acondicionamiento diseñado, pero operando como fuente de corriente contante. Para ello, se diseña un circuito electrónico de adaptación que se conecta a los integrados *iCs*.

Con esta solución, se consiguen eliminar dichas oscilaciones a costa de empeorar la estabilidad de la emisión, cuyas desviaciones aumentan hasta el 2%-2,5%. Aún así, el nivel de desviación permanece dentro de las condiciones establecidas.

Se propone como trabajos futuros:

- Implementar una nueva 'PCB' incorporando el adaptador a fuente de corriente constante.
- Diseñar e implementar un sistema de control de temperatura para éste tipo de dispositivos láser 'DPSS', que actúe de manera conjunta con el sistema de control por corriente presentado en este trabajo.
- Estudiar en profundidad la respuesta en frecuencia del dispositivo laser 'DPSS', y determinar con exactitud el origen del problema de estabilidad, que surge cuando se trabaja en lazo cerrado utilizando un fotodiodo externo.
- Incorporar el circuito de acondicionamiento a un sensor de fibra óptica.

Capítulo 6. Presupuesto.

En este capítulo se realiza un desglose del presupuesto del proyecto, discriminando entre el circuito de control básico y el circuito con el booster acoplado.

Se estima una duración de una semana (40h) para cada una, contando con que tan solo es necesario realizar el montaje de los componentes y las pruebas del circuito tras recibir la PCB fabricada.

Los datos relativos a los costes directos de personal se resumen en la Tabla 4.6-1.

Personal			
Categoría	Dedicación	Coste	Coste imputable (25%)
Técnico de laboratorio	1 persona/mes	1442,86 €/mes	360,72 €

Tabla 4.6-1: Costes directo de personal.

Los costes directos de material se resumen en la Tabla 4.6-2, Tabla 4.6-3 y Tabla 4.6-4. En las dos primeras tablas, se detalla el coste imputable relativo a los componentes electrónicos a montar para cada una de las opciones, mientras que en la Tabla 4.6-4 se resume el coste de material entregable para la implementación de circuitos de realimentación externa o circuitos de adaptación en caso de ser necesario.

Material de montaje (PCB básica)				
Tipo	Descripción	Cantidad	Coste unitario	Coste imputable
Integrado	iC-WK/WKL o iC-WKN	x1	7,25 €	7,25 €
Potenciómetro	Multivuelta, vertical	x1	0,98 €	0,98€
Condensador	Cerámico	x3	0,08 €	0,24 €
Condensador	Electrolítico	x1	0,13 €	0,13 €
Tira de pines	Hembra, x20	x1	0,53 €	0,53 €
				9,13 €

Tabla 4.6-2: Costes directos de material relativo al montaje de la PCB básica.

Material de montaje (PCB con booster)				
Tipo	Descripción	Cantidad	Coste unitario	Coste imputable
Integrado	iC-WK/WKL	x1	7,25 €	7,25 €
Resistencia	1/4W, 5%	x3	0,02 €	0,06 €
Potenciómetro	Multivuelta, vertical	x1	0,98 €	0,98€
Condensador	Cerámico	x2	0,08 €	0,16 €
Condensador	Electrolítico	x1	0,13 €	0,13 €
Tira de pines	Hembra, x20	x1	0,53 €	0,53 €
Tira de pines	Macho, x20	x1	0,27 €	0,27 €
Jumper	-----	x3	0,03 €	0,09 €
Transistor	BC237	x1	0,18 €	0,18 €
Transistor	BD139	x1	0,27 €	0,27 €
				9,92 €

Tabla 4.6-3: Costes directos de material relativo al montaje de la PCB con booster.

La misión del material de laboratorio entregable, se centra en facilitar al cliente la implementación de circuitos de realimentación externa, o de adaptación a fuente de corriente constante. El coste asociado se indica en la Tabla 4.6-4.

Material entregable				
Tipo	Descripción	Cantidad	Coste unitario	Coste imputable
Fotodetector	SFH250V	x2	2,67 €	5,34 €
Resistencia	1/4W, 5%	x20	0,02 €	0,40 €
Potenciómetro	Multivuelta, vertical	x10	0,98 €	9,80 €
Condensador	Cerámico	x20	0,08 €	1,60 €
Diodo	1N4001	x1	0,14 €	0,14 €
Transistor	BD138	x1	0,27 €	0,27 €
Amplificador	TL074	x1	0,44 €	0,44 €
Amplificador	LM324	x1	0,43 €	0,43 €
Amplificador	AD620	x1	6,95 €	6,95 €
Switch	IP67	x1	0,89 €	0,89 €
Fibra óptica (2m)		x1	8,30 €	8,30 €
				34,56 €

Tabla 4.6-4: Costes directos asociados a material entregable.

Los costes directos imputables relativos a tareas subcontratadas se detallan en la Tabla 4.6-5.

Subcontratación		
Tarea	Empresa	Coste imputable
Fabricación PCB (78,7x50,8mm)	Eurocircuits	3,64 €

Tabla 4.6-5: Costes directos de subcontratación.

Además, para la realización de las pruebas, se emplean componentes ópticos, fuentes láser e instrumentos de medición, cuyo coste de amortización (C_{amor}) se especifica en la Tabla 4.6-6. Para la realización de este cálculo, se tiene en cuenta un período de depreciación de 60 meses (5 años), y una dedicación del 100% a este proyecto.

$$C_{amor} = (utilización / depreciación) \cdot Coste(sin IVA) \cdot dedicación$$

Amortización						
Equipo	Modelo	Coste unitario	Cantidad	Uso dedicado al proyecto	Periodo de depreciación	Coste imputable
Láser He-Ne	Unphasse 4mW, 633nm	957,60 €	x1	100%	60 meses	3,99 €
Diodo láser	HL6501MG	33,07 €	x1	100%	60 meses	0,14 €
Láser DPSS	10mW, 532nm	158,00 €	x1	100%	60 meses	0,66 €
Cable	BNC	4,49 €	x3	100%	60 meses	0,06 €
Adaptador BNC	T	0,98 €	x2	100%	60 meses	0,01€
Adaptador	BNC - Banana	2,70 €	x2	100%	60 meses	0,02 €
Cable	Banana, 1m, 4mm	5,70 €	x10	100%	60 meses	0,24 €
Cable	Inserción, 10m, 0,07mm	1,03 €	x1	100%	60 meses	0,01 €
Cable	Inserción, 10m, 0,14mm	1,17 €	x1	100%	60 meses	0,01 €
Estaño	Carrete, 100gr, 0,5mm	5,50 €	x1	100%	60 meses	0,02€
Cocodrilos	-----	0,41 €	x10	100%	60 meses	0,02 €
Alicate de corte	-----	5,29 €	x1	100%	60 meses	0,02 €
Pelacables	-----	9,09 €	x1	100%	60 meses	0,04 €
Trimmer	-----	3,86 €	x1	100%	60 meses	0,02 €
Protoboard	Módulo 1280 pines	29,88 €	x1	100%	60 meses	0,12 €
Taladradora		33,90 €	x1	100%	60 meses	0,14 €
Soldador		32,53 €	x1	100%	60 meses	0,14 €
Mesa óptica	Granito 4"(101,6mm)	1537,27 €	x1	100%	60 meses	6,41 €
Base		9,79 €	x10	100%	60 meses	0,41 €
Poste		4,32 €	x10	100%	60 meses	0,18 €
Montura	1"(25,4mm)	12,45 €	x3	100%	60 meses	0,16 €
Posicionador	Micrométrico	41,50 €	x4	100%	60 meses	0,69 €
Estación de posicionamiento		82,17 €	x2	100%	60 meses	0,68 €
Divisor de haz	1"(25,4mm)	23,24 €	x2	100%	60 meses	0,39 €
Piezoeléctrico	-----	3,06 €	x1	100%	60 meses	0,19 €
Gafas protectoras	-----	30,63	x1	100%	60 meses	0,13 €
Espejo	1"(25,4mm)	16,60 €	x2	100%	60 meses	0,14 €
Lente	Biconvexa, M6 1"(25,4mm)	39,01 €	x1	100%	60 meses	0,16 €
						27,56 €

Tabla 4.6-6: Costes directos de amortización.

Teniendo en cuenta que los costes indirectos imputados ascienden a un 15%, el presupuesto total de este proyecto asciende a:

		PCB con iC-WK/WKL o WKN	PCB con iC-WK/WKL + booster
Costes directos	Personal	360,72 €	360,72 €
	Material de montaje	9,13 €	9,92 €
	Material entregable	34,56 €	34,56 €
	Subcontratación	3,64 €	3,64 €
	Amortización	27,56 €	27,56 €
Costes indirectos	15%	65,34 €	65,46 €
Total		500,95 €	501,86 €

Por tanto, el presupuesto total de este proyecto asciende a la cantidad de **500,95 €** en caso de implementarse el circuito de control básico, y a **501,86 €** en caso de acoplar el booster al circuito de control.

Capítulo 7. Glosario.

<u>Término</u>	<u>Descripción</u>
AC (CA)	Alternating Current (<i>Corriente Alterna</i>)
ACT	Active (<i>Activo</i>)
AGND	Analog Ground (<i>Tierra Analógica</i>)
AO	Amplificador Operacional
APC	Average Power Controller (<i>Controlador de Potencia Media</i>)
ASIC	Application-Specific Integrated Circuit (<i>Circuito Integrado de Aplicación Específica</i>)
BC	Banda de Conducción
BV	Banda de Valencia
Booster	Circuito de control de potencia en DC
CW	Continuous Wave (<i>Onda Continua</i>)
D/A	Convertidor de Digital a Analógica
DC (CC)	Direct Current (<i>Corriente Continua</i>)
DPSS	Diode Pumped Solid State (<i>Diodo de Estado Sólido por Bombeo</i>)
Driver	Circuito de control
ESD	Electrostatic Discharge (<i>Descarga Electrostática</i>)
FB	Feedback (<i>Realimentación</i>)
GAP	Banda energética prohibida. Diferencia entre el nivel energético de la BC y la BV.
GBP	Gain Bandwidth Product (<i>Producto Ganancia por Ancho de Banda</i>)
GND	Ground (<i>Tierra</i>)
IR	Infrared (<i>Infrarojo</i>)
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (<i>Amplificación de Luz por Emisión Estimulada de Radiación</i>)
LDA	Laser Diode Anode (<i>Ánodo del Diodo Láser</i>)
LDK	Laser Diode Cathode (<i>Cátodo del Diodo Láser</i>)
LED	Light Emitting Diode (<i>Diodo emisor de Luz</i>)
MDA	Monitor Diode Anode (<i>Ánodo del Fotodiodo Monitor</i>)
MDK	Monitor Diode Cathode (<i>Cátodo del Fotodiodo Monitor</i>)
Mod	Modulation (<i>Modulación</i>)
Nd-YAG	Neodimium - Yttrium Aluminum Garnet (<i>Óxido de Itrio, Aluminio y Granate, dopado con Neodimio</i>)
NIR	Near Infrared (<i>Infrarojo cercano</i>)
NUV	Near Ultraviolet (<i>Ultravioleta cercano</i>)
OpAmp	Operational Amplifier (<i>Amplificador Operacional</i>)
PCB	Printed Circuit Board (<i>Tarjeta de Circuito Impreso</i>)
PH	Photodiode (<i>Fotodiodo</i>)
Pinout	Asignación de patillaje en un circuito integrado
POF	Plastic Optical Fiber (<i>Fibra óptica de plástico</i>)
PZT	Piezoelectric
RTN	Return (<i>Retorno</i>)
Set-up	Montaje
SMD	Surface Mount Device (<i>Dispositivo de Montaje Superficial</i>)
UV	Ultraviolet (<i>Ultravioleta</i>)

Capítulo 8. Referencias.

Capítulo 1

- [1] D. A. Krohn, “*Fiber optic sensors: Fundamentals and applications*”, 3rd ed., ISA Society, 2000, cap. 1.
- [2] John P. Dakin / Robert G. W. Brown, “*Handbook of optoelectronics*”, vol. II, CRC Press, 2006, apdo. 3.1.1.
- [3] Matthias Pospiech, “*Laser diodes: An introduction*”, University of Hannover, 2004, intro.
- [4] Doug Hodgson / Bill Olsen, “*Protecting your laser diode*”, Application Note 3, ILX Lightwave Corporation, 2003.
- [5] Uwe Malzahn, “*Driving diode lasers is straightforward*”, iC-Haus GmbH, 2004.
- [6] Cleverscope Ltd, “*Cleverscope: Mixed signal high definition oscilloscope*”, 2013.
www.cleverscope.com.

Capítulo 2

- [7] Manuel C. Rubio, “*La era del fotón*”, Revista Técnica Industrial 244, 2002.
- [8] D. A. Krohn, “*Fiber optic sensors: Fundamentals and applications*”, 3rd ed., ISA Society, 2000, cap. 1 y 3-5.
- [9] John P. Dakin / Robert G. W. Brown, “*Handbook of optoelectronics*”, vol. II, CRC Press, 2006, apdo. 3.1.
- [10] Matthias Pospiech, “*Laser diodes: An introduction*”, University of Hannover, 2004, intro. y apdo. 1.1.
- [11] Rüdiger Paschotta, “*Laser diodes*”, RP Photonics Consulting GmbH, 2007.
http://www.rp-photonics.com/laser_diodes.html
- [12] Govind P. Agrawal / Niloy K. Dutta, “*Semiconductor lasers*”, 2nd ed., Kluwer Academic Publishers, 2000, cap. III.
- [13] Rüdiger Paschotta, “*Photodiodes*”, RP Photonics Consulting GmbH, 2007.
<http://www.rp-photonics.com/photodiodes.html>
- [14] P. Hariharan, “*Basics of interferometry*”, Academic Press, 2nd ed., 2006, cap. 7.
- [15] Daniel Malacara, “*Óptica tradicional y moderna*”, Fondo de Cultura Económica, 2nd ed., 1997, cap. III.
- [16] P. Hariharan, “*Basics of interferometry*”, Academic Press, 2nd ed., 2006, cap. 3.

- [17] JOptics, “Curso de óptica en Java”, Universidad de Barcelona, 2013.
<http://www.ub.edu/javaoptics/>
- [18] Julio Posada Román, “Sistema de instrumentación con sensor de fibra óptica para la medida de emisiones acústicas de ultrasonidos procedentes de descargas parciales”, Universidad Carlos III de Madrid, 2012.
- [19] Pablo Pedreira Conchado, “Metodología para el diseño de diagnósticos interferométricos de alta resolución espacial para la medida de perfiles de densidad electrónica en plasmas de fusión: El interferómetro heterodino de haz expandido y de dos longitudes de onda del Stellarator TJ-II”, Universidad Carlos III de Madrid, 2011.
- [20] P. Hariharan, “Basics of interferometry”, Academic Press, 2nd ed., 2006, cap. 6.
- [21] Daniel Malacara, “Óptica tradicional y moderna”, Fondo de Cultura Económica, 2nd ed., 1997, cap. IV.
- [22] Shoptronica.com, DIY Electronic Components, 2013.
<http://www.shoptronica.com/1167-diodos-led-laser.html>
- [23] E. Hecht / A. Zajac / D. Malacara, “Óptica”, 1st ed., Addison-Wesley, 1986, cap. 2.
- [24] P. Hariharan, “Basics of interferometry”, Academic Press, 2nd ed., 2006, cap. 2.
- [25] Wikipedia, “Espectro electromagnético”, 2013.
http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagnetico
- [26] Lili Jannet Carrasco, “Interferometría láser aplicada a la metrología dimensional”, Indecopy, 2010, cap. 1.
http://www.indecopi.gob.pe/repositorioaps/0/13/jer/cap_simposiodmetro/Interferometria.pdf
- [27] TextosCientíficos.com, “El átomo”, 2013.
<http://www.textoscientificos.com/quimica/inorganica/el-atomo>
- [28] A. Carnicer / I. Juvells, “Apuntes de óptica física”, Universidad de Barcelona, 2003, cap. 3.
<http://es.scribd.com/doc/3921440/58/Coherencia-espacial>
- [29] P. Hariharan, “Basics of interferometry”, Academic Press, 2nd ed., 2006, cap. 4.
- [30] Wikipedia, “Polarización electromagnética”, 2013.
http://es.wikipedia.org/wiki/Polarizacion_electromagnetica

Capítulo 3

- [31] Uwe Malzahn, “Driving diode lasers is straightforward”, iC-Haus GmbH, 2004.
- [32] Doug Hodgson / Bill Olsen, “Protecting your laser diode”, Application Note 3, ILX Lightwave Corporation, 2003.

- [33] iC-Haus, “*Driving diode laser with discrete or integrated circuits*”, iC-Haus GmbH, 2002.
- [34] Analog Devices, “*ADN2830: Continuous wave average power controller*”, rev. B, 2012.
http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADN2830.pdf
- [35] iC-Haus, “*iC-WK, iC-WKL Application notes*”, iC-Haus GmbH, 2002.
- [36] iC-Haus, “*iC-WK demo board description*”, iC-Haus GmbH, 2002.
- [37] K. Mitzner, “*Complete PCB design using OrCAD Capture and PCB Editor*”, 1st ed., Elsevier, 2009.

Capítulo 4

- [38] iC-Haus, “*iC-WK, iC-WKL Application notes*”, iC-Haus GmbH, 2002.

Anexo A.

2,4V CW Laser Diode Driver Datasheet *(Hojas de Características - iC-WK/iC-WKL)*

Páginas adjuntadas: 8



iC-WK, iC-WKL

2.4 V CW LASER DIODE DRIVER



Rev D1, Page 1/8

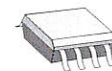
FEATURES

- ♦ CW operation up to 90 mA from 2.4 to 6 V supply voltage
- ♦ Rapid soft start after power-on typical within 70 μ s
- ♦ Simple power adjustment via the external resistor
- ♦ Control loop accuracy better than 1% with changes in temperature, supply voltage and load current
- ♦ Integrated reverse polarity protection for the iC and laser diode
- ♦ Strong suppression of transients with very small external capacitors; integrated flyback path
- ♦ Permanent shutdown with excessive temperature and overcurrent (i.e. if the laser diode is damaged or the feedback current path fails)
- ♦ Two feedback inputs permit all current LD types to be used (N/P/M configurations)
- ♦ Modulation via the feedback inputs is possible
- ♦ Wide monitor current range from 10 μ A to 2.5 mA
- ♦ **iC-WK** with additional spike detection at monitor input MDA

APPLICATIONS

- ♦ Battery-powered LD modules
- ♦ LD Pointers
- ♦ Laser levels
- ♦ Bar-code readers

PACKAGES

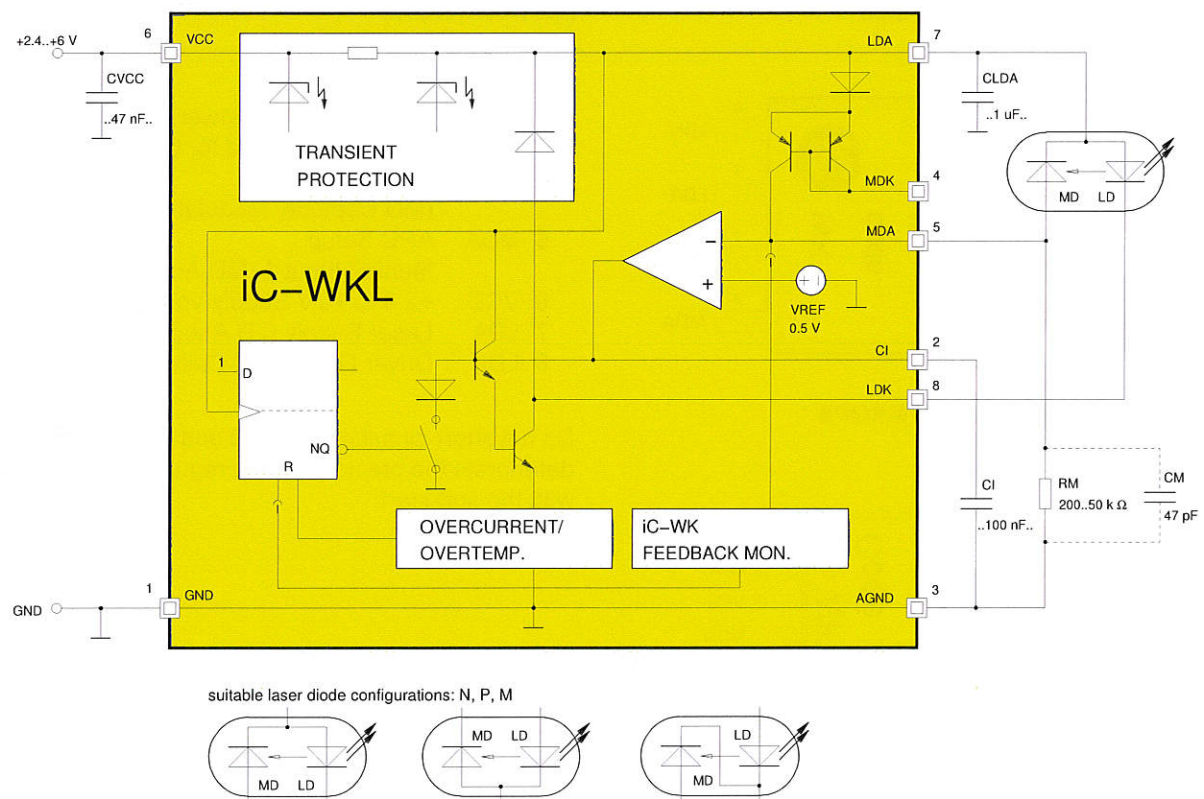


SO8



MSOP8

BLOCK DIAGRAM



iC-WK, iC-WKL

2.4 V CW LASER DIODE DRIVER



Rev D1, Page 2/8

DESCRIPTION

The iC-WK/L device is a driver for laser diodes in continuous wave operation which requires only four external components. The wide power supply range of 2.4 to 6 V and the integrated reverse battery protection allow for battery operation with a minimum of two cells. A reversed battery connection destroys neither the iC nor the laser diode.

The iC includes integrated circuitry protecting against destruction by ESD, excessive temperature and overcurrent and a soft start which regulates the power and protects the laser diode when the power supply is switched on. The iC also filters the laser diode power supply for transients.

The power supply is regulated and adapted to the laser diode used by an external resistor at MDA. The monitor current acts as a reference and is regulated independent of the influence of temperature and supply voltage (range: 10 μ A to 2.5 mA). The capacitor at

CI determines the control time constants and start-up time.

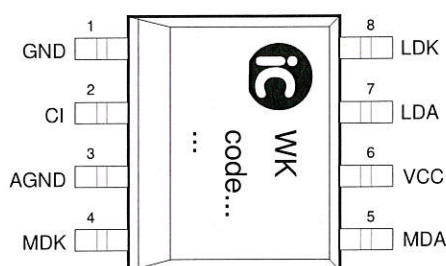
A second monitor input, pin MDK, allows the driver to be used for other types of laser diode configuration; alternatively, it can be used as an analogue modulation input (DC to a few kHz).

In the event of failure, such as overcurrent in the laser path with a lack of feedback, for example, a quick power lockout is activated. The shutdown continues until power is reapplied, permitting a restart. The strain on power packs and batteries is relieved and the laser class is retained even in the event of a disturbance.

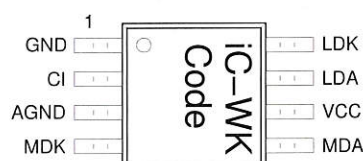
iC-WK offers additional protection by means of spike detection at pin MDA. Should spikes or oscillation occur at pin MDA the power lockout is activated.

PACKAGES SO8, MSOP8 to JEDEC

PIN CONFIGURATION SO8 (top view)



PIN CONFIGURATION MSOP8 (top view)



PIN FUNCTIONS

No.	Name	Function
1	GND	Ground
2	CI	Capacitance for Power Control
3	AGND	Reference Ground for CI, RM
4	MDK	Monitor Input 2 (MD Cathode, Modulation)
5	MDA	APC Setup, Monitor Input 1 (MD Anode)
6	VCC	+2.4 to +6 V Supply Voltage
7	LDA	Laser Supply (LD Anode)
8	LDK	Driver Output (LD Cathode)

Do not short-circuit pins AGND and GND, for this may deteriorate the precision of the regulator and interfere with the soft-start!

iC-WK, iC-WKL

2.4 V CW LASER DIODE DRIVER



Rev D1, Page 3/8

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

No Destruction, correct function not guaranteed.

Item No.	Symbol	Parameter	Conditions	Fig.	Min.	Max.	Unit
G001	VCC	Voltage at VCC			-6	6.5	V
G002	I(VCC)	Current in VCC			-10	95	mA
G003	I(CI)	Current in CI			-10	10	mA
G004	I(LDA)	Current in LDA			-95	10	mA
G005	I(LDK)	Current in LDK			-10	95	mA
G006	I(MDA)	Current in MDA			-10	10	mA
G007	I(MDK)	Current in MDK			-10	10	mA
G008	I(AGND)	Current in AGND			-10	10	mA
G009	I(GND)	Current in GND			-95	10	mA
G010	Vd()	ESD Susceptibility at all pins	MIL-STD-833, method 3015, HBM 100 pF unloaded over 1.5 k Ω			2	kV
G011	Tj	Operating Junction Temperature			-40	150	°C
G012	Ts	Storage Temperature Range			-40	150	°C

THERMAL DATA

Operating Conditions: VCC = 2.4...6 V

Item No.	Symbol	Parameter	Conditions	Fig.	Min.	Typ.	Max.	Unit
T01	Ta	Operating Ambient Temperature Range			-40		85	°C
T02	Rthja	Thermal Resistance Chip/Ambient	SMD assembly, no additional cooling areas				140	K/W

All voltages are referenced to ground unless otherwise stated.
All currents into the device pins are positive; all currents out of the device pins are negative.

iC-WK, iC-WKL

2.4 V CW LASER DIODE DRIVER



Rev D1, Page 4/8

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Operating Conditions: VCC = 2.4...6 V, RM = 200 Ω...50 kΩ, Tj = -40...125 °C unless otherwise noted

Item No.	Symbol	Parameter	Conditions	Tj °C	Fig.	Min.	Typ.	Max.	Unit
Total Device									
001	VCC	Permissible Supply Voltage				2.4		6	V
002	I(LDK)m	Permissible Laser Drive Current (closed control loop)	Tj = -40...125 °C Tj = -40...80 °C			5 5		70 90	mA mA
003	Idc(VCC)	Supply Current without load path	closed control loop, I(MDK) = 0				2.4	5.5	mA
004	Ioff(VCC)	Supply Current on Reset					2.4	5	mA
005	Ir(VCC)	Reverse Supply Current	RM = 50 kΩ, VCC = -6 V			-6	-3		mA
006	ton()	Turn-on Delay	VCC: 0 → 5 V to 95 % I(LDK), I(LDK) = I(LDK)m; CI = 47 nF CI = 100 nF					70 150	μs μs
007	Vc()hi	Clamp Voltage hi at VCC, LDA, MDK	I() = 10 mA, other pins open			6		9	V
008	Vc(LDK)hi	Clamp Voltage hi at LDK	V() < VCC + 1 V; I() = 10 mA, other pins open			6		9	V
009	Vc(MDA)hi	Clamp Voltage hi at MDA	I() = 10 mA, other pins open iC-WKL iC-WK			6 1.1		9 4	V V
010	Vc()hi	Clamp Voltage hi at CI	I() = 10 mA, other pins open			1.1		4	V
011	Vc()lo	Clamp Voltage lo at VCC, LDA, MDK, MDA, CI	I() = -10 mA, other pins open			-9			V
Reference and Monitor Inputs MDA, MDK, AGND									
101	V(MDA)	Reference Voltage at MDA	closed control loop, V(LDK) > Vs(LDK)			480	500	520	mV
102	dV(MDA)	Reference Voltage Temperature Drift at MDA	see 101;					120	μV/°C
103	Ierr(MDA)	Input Current in MDA	closed control loop, I(MDK) = 0			-300		300	nA
104	dI(MDA)	Input Current Temperature Drift in MDA	see 103;			-2		2	nA/°C
105	APCerr	Control Error	RM = 10 kΩ, Tj = 0...80 °C RM = 10 kΩ, Tj = -40...125 °C					0.3 1	% %
106	dI(MD)	Supply Voltage Suppression of monitor current	V(VCC): 2.4 → 6 V, I(LDK) = 70 mA			-1		1	%
107	Rgnd()	Resistor AGND-GND						3	Ω
108	Vf(MDK)	Voltage at MDK	Vf() = V(LDA) - V(MDK); I(MDK) = 1 μA...1 mA			0.46		2.1	V
109	CR()	Current Ratio I(MDA)/I(MDK)	I(MDK) = 10...500 μA I(MDK) = 500 μA...2.5 mA			0.975 0.95		1.025 1.05	
110	TC()	Current Ratio Temperature Coefficient I(MDA) / I(MDK)	I(MDK) = 10...500 μA I(MDK) = 500 μA...2.5 mA			-0.005 -0.025		0.005 0.025	%/°C %/°C
Laser Drive LDA, LDK									
201	Vs(LDK)	Saturation Voltage at LDK	I(LDK) = 40 mA I(LDK) = 70 mA, Tj = -40...125 °C I(LDK) = 90 mA, Tj = -40...80 °C					300 400 400	mV mV mV
202	dI(MD)	Load Balancing Error	I(LD) = 20 mA, I(LDK): 20 mA → 70 mA			-1		1	%
203	It(LDK)	Overcurrent Threshold in LDK	Tj = -40...125 °C Tj = -40...80 °C			70 90	130	300 300	mA mA
204	toff()	Overcurrent Reset Delay	lack of feedback: I(RM) = 0 to I(LDK) = It(LDK); I(LDK) = 20 mA, CI = 47 nF I(LDK) = 20 mA, CI = 100 nF I(LDK) = 60 mA, CI = 47 nF I(LDK) = 60 mA, CI = 100 nF					85 170 60 130	μs μs μs μs
205	Vf()	Diode Forward Voltage LDK-LDA	I(LDK) < 70 mA					1.1	V
206	Rvcc()	Transient Protection Resistor	VCC vs. LDA					4	Ω

iC-WK, iC-WKL

2.4 V CW LASER DIODE DRIVER



Rev D1, Page 5/8

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Operating Conditions: VCC = 2.4...6 V, RM = 200 Ω ...50 k Ω , Tj = -40...125 °C unless otherwise noted

Item No.	Symbol	Parameter	Conditions	Tj °C	Fig.	Min.	Typ.	Max.	Unit
207	Vt(MDA)	Shutdown Threshold at MDA	iC-WK only			0.56		2	V
Control Release Flip-Flop									
401	VCCen	Set Threshold for Enable Flip-Flop				0.6		1.9	V
402	Toff	Overtemperature Shutdown				125		150	°C

iC-WK, iC-WKL

2.4 V CW LASER DIODE DRIVER



Rev D1, Page 6/8

SAFETY INSTRUCTIONS

Laser light can damage the human eye and the eyes of animals! Do not look at any laser light directly or through any optical lens. When handling a laser diode, do not look directly at the light generated by it. Wear appropriate safety glasses to prevent light from entering the eye even by reflection.



TURN-ON/OFF BEHAVIOUR

Turn-on behaviour

After switching on the supply voltage the output stage remains disabled until the internal enabling flip-flop is set by a sufficiently high voltage at LDA.

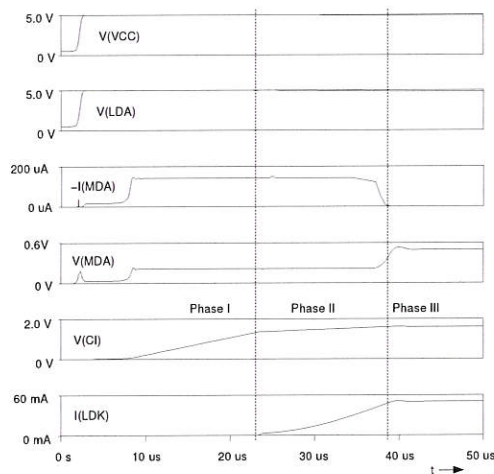


Figure 1: Turn-on behaviour

A quick soft start occurs during phase I; the control capacitor CI is loaded at an accelerated rate until the output stage supplies current at LDK. An open-circuit voltage at pin MDA is used to verify the external resistance.

Phase II, the initialisation process, begins when current starts to flow at LDK. This phase ends when the laser reaches its threshold current and the monitor current produced raises the potential at resistor RM.

The transition to CW operation (phase III) is gradual and primarily influenced by the CI and RM components. CI is properly dimensioned when the voltage overshoot at MDA is at a minimum.

Turn-off behaviour

iC-WK/L functions without a fixed undervoltage lock-

out, thus the laser diode forward voltage is the prime factor determining the lowest possible supply voltage.

If the voltage drops below this, the output stage is forcibly saturated and the laser current falls. In this instance iC-WK/L simultaneously discharges control capacitor CI so that no excessive laser diode currents occur when the supply voltage rises again.

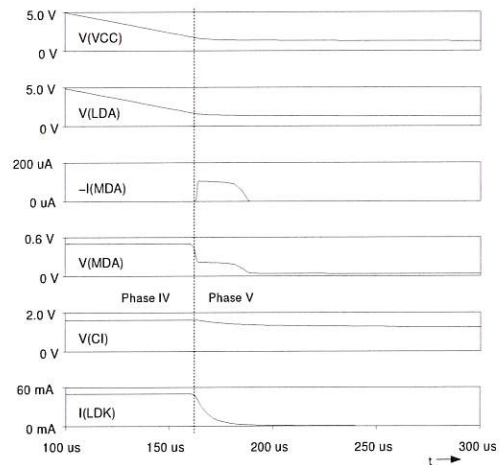


Figure 2: Turn-off behaviour

Disruptions in operation

The power control is shut down with excessive driver temperature or when the laser current reaches the overcurrent shutdown threshold, for example when the feedback is interrupted. If the monitor diode or the pre-set resistor RM fail, the device is shutdown in less than 250 μ s, provided that the supply voltage applied is high enough.

When modulating or switching the laser current via pin MDK (see Application Notes), excessive Voltage occurring at pin MDA also causes a shut down (iC-WK only).

iC-WK, iC-WKL

2.4 V CW LASER DIODE DRIVER



Rev D1, Page 7/8

APPLICATION NOTES

Setting the output power

The output power is simply set by $R_M = V(MDA) / I(MD)$; with $V(MDA) = \text{Item-No. 101}$ and $I(MD)$ = monitor current at the desired operating point. R_M should be combined from fixed resistor (max. output power) and a trimmer (calibration).

Further application notes on iC-WK/L and the data sheets of the evaluation modules and the demo board are available as separate documents.

This specification is for a newly developed product. iC-Haus therefore reserves the right to change or update, without notice, any information contained herein, design and specification; and to discontinue or limit production or distribution of any product versions. Please contact iC-Haus to ascertain the current data. Copying – even as an excerpt – is only permitted with iC-Haus approval in writing and precise reference to source.

iC-Haus does not warrant the accuracy, completeness or timeliness of the specification on this site and does not assume liability for any errors or omissions in the materials. The data specified is intended solely for the purpose of product description. No representations or warranties, either express or implied, of merchantability, fitness for a particular purpose or of any other nature are made hereunder with respect to information/specification or the products to which information refers and no guarantee with respect to compliance to the intended use is given. In particular, this also applies to the stated possible applications or areas of applications of the product.

iC-Haus conveys no patent, copyright, mask work right or other trade mark right to this product. iC-Haus assumes no liability for any patent and/or other trade mark rights of a third party resulting from processing or handling of the product and/or any other use of the product.

iC-WK, iC-WKL

2.4 V CW LASER DIODE DRIVER



Rev D1, Page 8/8

ORDERING INFORMATION

Type	Package	Order Designation
iC-WK	SO8	iC-WK SO8
	MSOP8	iC-WK MSOP8
iC-WKL	SO8	iC-WKL SO8
	MSOP8	iC-WKL MSOP8
WK Module for P-/M-Type Laser		iC-WK iCSY WK1D
WKL Module for P-/M-Type Laser		iC-WKL iCSY WK1D
WK Module for N-Type Laser		iC-WK iCSY WK2D
WKL Module for N-Type Laser		iC-WKL iCSY WK2D
WK Evaluation Board		iC-WK EVAL WK4D
WKL Evaluation Board		iC-WKL EVAL WK4D

For information about prices, terms of delivery, other packaging options etc. please contact:

iC-Haus GmbH
Am Kuemmerling 18
D-55294 Bodenheim
GERMANY

Tel.: +49 (61 35) 92 92-0
Fax: +49 (61 35) 92 92-192
Web: <http://www.ichaus.com>
E-Mail: sales@ichaus.com

Anexo B.

15V CW Laser Diode Driver Datasheet *(Hojas de Características - iC-WKN)*

Páginas adjuntadas: 10



15 V CW LASER DIODE DRIVER



Rev B1, Page 1/9

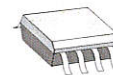
FEATURES

- ◆ CW operation up to 300 mA from 2.4 to 15 V supply voltage
- ◆ Rapid soft start after power-on typical within 70 μ s
- ◆ Optimised for N-type laser diodes
- ◆ Simple output power adjustment via an external resistor (APC)
- ◆ Power control loop accuracy better than 1.5 % with changes in temperature, supply voltage and load current
- ◆ Integrated reverse polarity protection for the iC and laser diode
- ◆ Strong suppression of transients with very small external capacitors; integrated flyback path
- ◆ Permanent shutdown with excessive temperature and overcurrent (i.e. if the laser diode is damaged or the feedback current path fails)
- ◆ Two feedback inputs permit all current LD types to be used (N/P/M configurations)
- ◆ Modulation via the feedback inputs is possible
- ◆ Wide monitor current range from 2.5 μ A to 6.25 mA
- ◆ Pin compatible to iC-WK and iC-WKL (SO8 package)

APPLICATIONS

- ◆ Blue laser diodes
- ◆ LD modules

PACKAGES

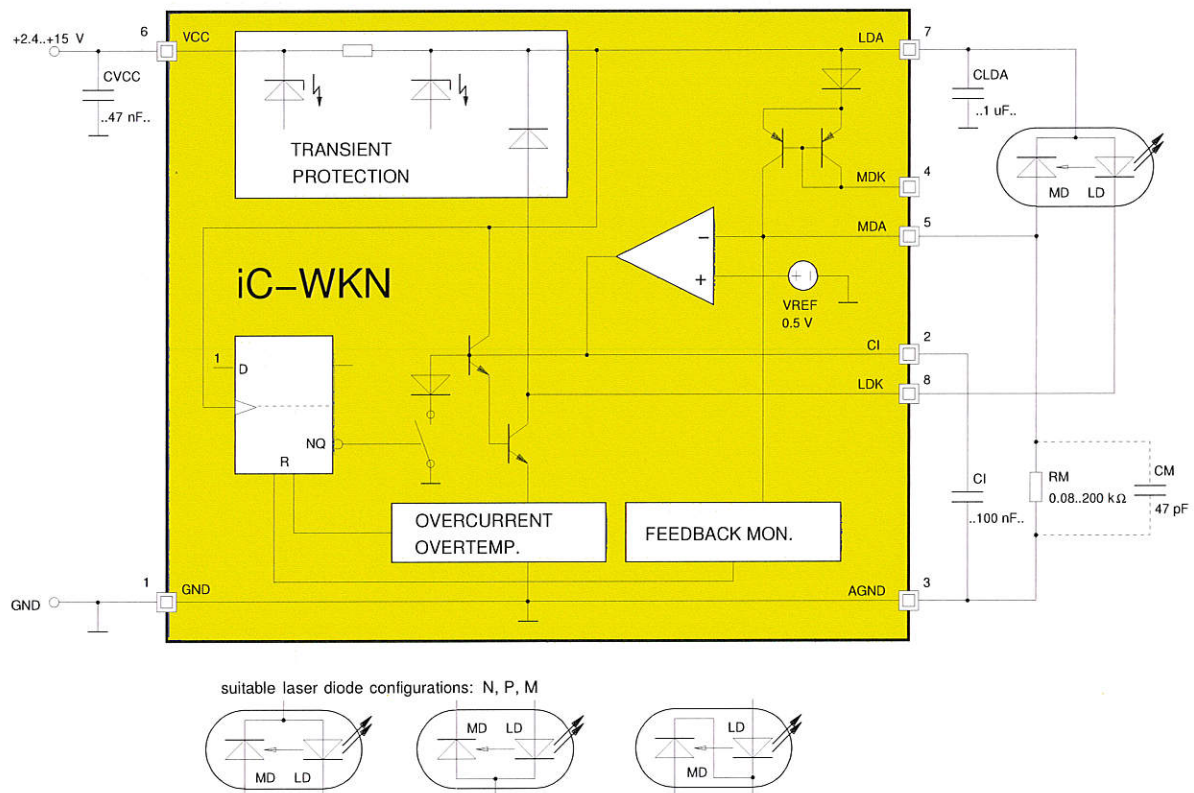


SO8tp



DFN10
4 mm x 4 mm
(on request)

BLOCK DIAGRAM



DESCRIPTION

iC-WKN is a driver for laser diodes in continuous wave operation with laser currents of up to 300 mA, which requires only four external components. The wide power supply range of up to 15 V allows for operation of blue laser diodes.

The iC includes integrated circuitry protecting against destruction by ESD, excessive temperature and overcurrent plus a soft start of the regulator to protect the laser diode when the power supply is switched on. The iC also filters the laser diode power supply for transients.

The regulator is adapted to the laser diode by an external resistor at MDA. The monitor current acts as a reference and is regulated independent of the influence of temperature and supply voltage (range: 2.5 μ A to 6.25 mA). The capacitor at CI determines the control time constants and start-up time.

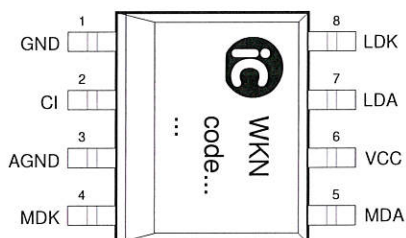
A second monitor input, pin MDK, allows the driver to be used for other types of laser diode configuration; alternatively, it can be used as an analog modulation input (DC to a few kHz).

In the event of failure, such as overcurrent in the laser path due to a lack of feedback, for example, a quick power lockout is activated. The shutdown persists until power is reapplied, permitting a restart. The strain on power packs and batteries is relieved and the laser class is retained even in the event of a disturbance.

iC-WKN offers additional protection by means of spike detection at pin MDA. Should spikes or oscillation occur at pin MDA the power lockout is activated after a certain time-out.

PACKAGES SO8tp, DFN10 4 mm x 4 mm to JEDEC standard

PIN CONFIGURATION SO8tp (top view)

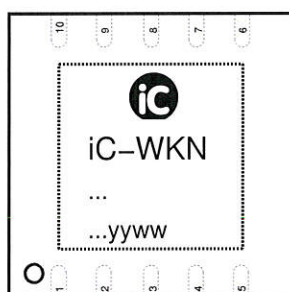


PIN FUNCTIONS

No.	Name	Function
1	GND	Ground
2	CI	Capacitance for Power Control
3	AGND	Reference Ground for CI, RM
4	MDK	Monitor Input 2 (MD Cathode, modulation)
5	MDA	APC Setup, Monitor Input 1 (MD Anode)
6	VCC	+2.4...+15 V Supply Voltage
7	LDA	Laser Supply (LD Anode)
8	LDK	Driver Output (LD Cathode)

The *Thermal Pad* is to be connected to a Ground Plane on the PCB. Do not short-circuit pins AGND and GND, for this may deteriorate the precision of the regulator and interfere with the soft-start!

PIN CONFIGURATION DFN10 4 mm x 4 mm (top view)



PIN FUNCTIONS

No.	Name	Function
1	GND	Ground
2	CI	Capacitance for Power Control
3	AGND	Reference Ground for CI, RM
4	MDK	Monitor Input 2 (MD Cathode, modulation)
5	n.c.	
6	MDA	APC Setup, Monitor Input 1 (MD Anode)
7	n.c.	
8	VCC	+2.4...+15 V Supply Voltage
9	LDA	Laser Supply (LD Anode)
10	LDK	Driver Output (LD Cathode)

The *Thermal Pad* is to be connected to a Ground Plane on the PCB. Do not short-circuit pins AGND and GND, for this may deteriorate the precision of the regulator and interfere with the soft-start!

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Beyond these values damage may occur; device operation is not guaranteed.

Item-No.	Symbol	Parameter	Conditions	Fig.	Min.	Max.	Unit
G001	VCC	Voltage at VCC			-6	16	V
G002	I(VCC)	Current in VCC			-10	900	mA
G003	I(CI)	Current in CI			-10	10	mA
G004	I(LDA)	Current in LDA			-900	10	mA
G005	I(LDK)	Current in LDK			-10	900	mA
G006	I(MDA)	Current in MDA			-10	10	mA
G007	I(MDK)	Current in MDK			-10	10	mA
G008	I(AGMD)	Current in AGND			-10	10	mA
G009	I(GND)	Current in GND			-900	10	mA
G010	Vd()	ESD Susceptibility at all pins	MIL-STD-883, Method 3015, HBM 100 pF discharged through 1.5 k Ω			2	kV
G011	Tj	Operating Junction Temperature			-40	150	°C
G012	Tj	Storage Temperature Range			-40	150	°C

THERMAL DATA

Operating Conditions: VCC = 2.4...15 V

Item-No.	Symbol	Parameter	Conditions	Fig.	Min.	Typ.	Max.	Unit
T01	Ta	Operating Ambient Temperature Range			-40		85	°C
T02	Rthja	Thermal Resistance Chip/Ambient	soldered to PCB; no additional cooling areas therm. pad soldered to approx. 2 cm ² cooling area			30	170 50	k/W k/W

All voltages are referenced to ground unless otherwise noted.

All currents into the device pins are positive; all currents out of the device pins are negative.

ELECTRICAL CHARACTERISTIC

Operating Conditions: VCC = 2.4...15 V, RM = 80 Ω...200 kΩ, Tj = -40...125 °C unless otherwise noted

Item-No.	Symbol	Parameter	Conditions	Tj °C	Fig.	Min.	Typ.	Max.	Unit
Total Device									
001	VCC	Permissible Supply Voltage				2.4		15	V
002	I(LDK)m	Permissible Laser Drive Current	power control range			10		300	mA
003	Idc(VCC)	Supply Current without load path	closed control loop, I(MDK) = 0, I(LDK) = 290 mA				10	20	mA
004	Ioff(VCC)	Supply Current on Reset					2.4	5	mA
005	Ir(VCC)	Reverse Supply Current	RM = 50 kΩ, VCC = -6 V			-6	-3		mA
006	ton()	Turn-on Delay	VCC: 0 → 5 V to 95 % I(LDK), I(LDK) = I(LDK)m; CI = 47 nF CI = 100 nF					70 150	μs μs
007	Vc()hi	Clamp Voltage hi at VCC, LDA	I() = 10 mA, other pins open			16		24	V
008	Vc()hi	Clamp Voltage hi at LDK	V() < VCC + 1 V; I() = 10 mA, other pins open			16		24	V
009	Vc()hi	Clamp Voltage hi at MDK vs. LDA	I() = 10 mA, other pins open			8		11	V
010	Vc()hi	Clamp Voltage hi at MDA, CI	I() = 10 mA, other pins open			1.1		4	V
011	Vc()lo	Clamp Voltage lo at VCC, LDA, MDK, MDA, CI	I() = -10 mA, other pins open			-9			V
Reference and Monitor Inputs MDA, MDK, AGND									
101	V(MDA)	Reference Voltage at MDA	closed control loop, V(LDK) > Vs(LDK)			480	500	520	mV
102	dV(MDA)	Reference Voltage Temperature Drift at MDA	see 101					120	μV/°C
103	Ierr(MDA)	Input Current in MDA	closed control loop, I(MDK) = 0, I(LDK) = 10...290 mA			-100		100	nA
104	dI(MDA)	Input Current Temperature Drift in MDA	see 103			-1		1	nA/°C
105	APCerr	Control Error	RM = 10 kΩ, Tj = 0...80 °C RM = 10 kΩ, Tj = -40...125 °C					0.3 1	% %
106	dI(RM)	Supply Voltage Suppression	V(VCC): 2.4 → 15 V, I(LDK) = 290 mA			-1.5		1.5	%
107	Rgnd()	Resistor AGND-GND						3	Ω
108	Vf(MDK)	Voltage at MDK	Vf() = V(LDA) - V(MDK), I(MDK) = 1 μA...1 mA			0.46		2	V
109	CR()	Current Ratio I(MDA) / I(MDK)	I(MDK) = 1 μA...1 mA I(MDK) = 1...6 mA			0.98 0.95		1.02 1.05	
110	TC()	Current Ratio Temperature Coefficient I(MDA) / I(MDK)	I(MDK) = 1 μA...1 mA I(MDK) = 1...6 mA			-0.005 -0.025		0.005 0.025	%/°C %/°C
Laser Driver LDA, LDK									
201	Vs(LDK)	Saturation Voltage at LDK	I(LDK) = 40 mA I(LDK) = 290 mA					350 700	mV mV
202	dI(LD)	Load Balancing Error	I(LD) = 20 mA, I(LDK): 20 mA → 290 mA			-1.5		1.5	%
203	It(LDK)	Overcurrent Threshold in LDK	V(LDK) = 2...5.5 V			300		700	mA
204	It(LDK)m	Maximum Overcurrent Threshold in LDK						1.2	A
205	toff()	Overcurrent Reset Delay	lack of feedback: I(MD) = 0 to I(LDK) = It(LDK); CI = 47 nF CI = 100 nF					85 170	μs μs
206	Vf()	Flyback Diode Forward Voltage LDK-LDA	I(LDK) < 290 mA					1.3	V
207	Rvcc()	Transient Protection Resistor	VCC to LDA					1.3	Ω
208	Vt(MDA)	Shutdown Threshold at MDA	t > 1 μs			0.7		2	V

ELECTRICAL CHARACTERISTICOperating Conditions: VCC = 2.4...15 V, RM = 80 Ω ...200 k Ω , Tj = -40...125 °C unless otherwise noted

Item-No.	Symbol	Parameter	Conditions	Tj °C	Fig.	Min.	Typ.	Max.	Unit
Control Release Flip-Flop									
401	VCCen	Set Threshold for Enable Flip-Flop		-40		0.6		1.9	V
				27		1.2		1.9	V
				125		1.0		1.7	V
						0.6		1.2	V
402	Toff	Overtemperature Shutdown				140		165	°C

SAFETY PRECAUTIONS

Laser light can damage the human eye and the eyes of animals. Do not look at any laser light directly or through any optical lens. When handling a laser diode, do not look directly at the light generated by it. Wear appropriate safety glasses to prevent light from entering the eye even by reflection.



FUNCTION DESCRIPTION

Turn-on behaviour

After switching the supply voltage on, the output stage remains disabled until the internal enabling flip-flop is set by a sufficiently high voltage at LDA.

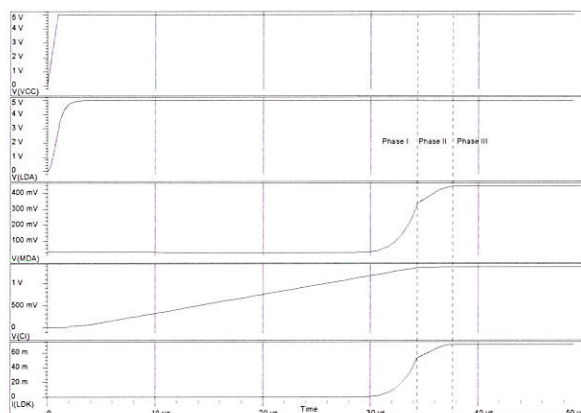


Figure 1: Turn-on behaviour

A quick soft-start follows during phase I; the control capacitor CI is charged at an accelerated rate until the voltage at pin MDA reaches 1/3 of its nominal value.

With $V(MDA) > 1/3V(MDA)_{nom}$ phase II starts, the controlled start-up. The transition to CW operation (phase III) is gradual and primarily determined by the values of CI and RM. CI is properly dimensioned when the voltage overshoot at MDA is at a minimum.

Turn-off behaviour

iC-WKN works without a fixed undervoltage lockout, thus the laser diode forward voltage is the prime fac-

tor for determining the lowest possible supply voltage.

If the voltage drops below this value, the output driver is forcibly saturated and the laser current decreases. iC-WKN simultaneously discharges the control capacitor CI so that no excessive laser diode currents occur when the supply voltage rises again.

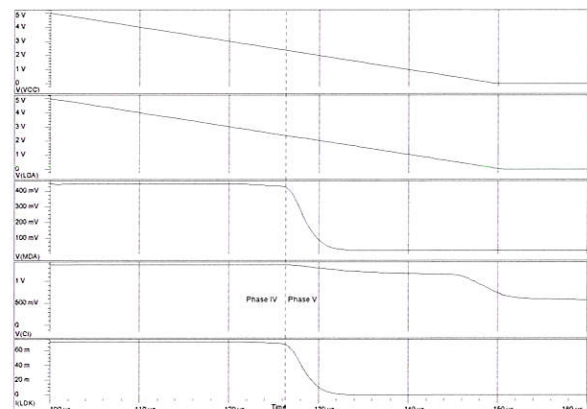


Figure 2: Turn-off behaviour

Disruptions in operation

The power control is shut down with excessive driver temperature or when the laser current reaches the overcurrent shutdown threshold, for example when the feedback is interrupted. If the monitor diode or the bias resistor RM fail, the device is shut down in less than 250 µs, provided that the supply voltage applied is high enough. When modulating the laser current via pin MDK, excessive voltage occurring at pin MDA also may cause a shutdown.

APPLICATION NOTES**Setting the output power**

The output power is simply set by $R_M = V(MDA) / I(MD)$; with $V(MDA) = \text{Item-No. 101}$ and $I(MD)$ = monitor current of the laser diode at the desired operating point. R_M should be combined from a fixed resistor

(max. output power) and a trimmer (calibration).

Further application notes on the iC-WK family (iC-WK, iC-WKL, iC-WKN) and the data sheet of the demo board are available as separate documents.

This specification is for a newly developed product. iC-Haus therefore reserves the right to change or update, without notice, any information contained herein, design and specification; and to discontinue or limit production or distribution of any product versions. Please contact iC-Haus to ascertain the current data.

Copying – even as an excerpt – is only permitted with iC-Haus approval in writing and precise reference to source.

iC-Haus does not warrant the accuracy, completeness or timeliness of the specification on this site and does not assume liability for any errors or omissions in the materials. The data specified is intended solely for the purpose of product description. No representations or warranties, either express or implied, of merchantability, fitness for a particular purpose or of any other nature are made hereunder with respect to information/specification or the products to which information refers and no guarantee with respect to compliance to the intended use is given. In particular, this also applies to the stated possible applications or areas of applications of the product.

iC-Haus conveys no patent, copyright, mask work right or other trade mark right to this product. iC-Haus assumes no liability for any patent and/or other trade mark rights of a third party resulting from processing or handling of the product and/or any other use of the product.

iC-WKN

15 V CW LASER DIODE DRIVER



Rev B1, Page 9/9

ORDERING INFORMATION

Type	Package	Order Designation
iC-WKN	SO8tp DFN10 4 mm x 4 mm	iC-WKN SO8 iC-WKN DFN10
Demo Board		WKN4D DEMO

For information about prices, terms of delivery, other packaging options etc. please contact:

iC-Haus GmbH
Am Kuemmerling 18
D-55294 Bodenheim
GERMANY

Tel +49 (61 35) 92 92-0
Fax +49 (61 35) 92 92-192
Web: <http://www.ichaus.com>
E-Mail: sales@ichaus.com

Anexo C.

HL6501MG Laser Diode Datasheet *(Hojas de Características)*

Páginas adjuntadas: 8



HL6501MG

Visible High Power Laser Diode for DVD-RAM

HITACHI

ADE-208-515H (Z)
9th Edition
Dec. 2000

Description

The HL6501MG is a 0.65 μm band AlGaInP laser diode (LD) with a multi-quantum well (MQW) structure. It is suitable as a light source for large capacity optical disc memories, such as DVD-RAM, and various other types of optical equipment.

Hermetic sealing of the small package ($\phi 5.6$ mm) assures high reliability.

Application

- Optical disc memories
- Optical equipment

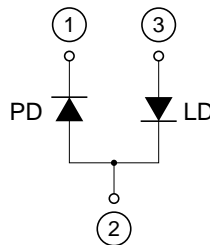
Features

- High output power: 35 mW (CW)
- Visible light output: $\lambda_p = 658$ nm Typ
- Small package: $\phi 5.6$ mm
- Low astigmatism: 6 μm Typ ($P_o = 5$ mW)

Package Type
• HL6501MG: MG



Internal Circuit



Absolute Maximum Ratings (T_C = 25°C)

Item	Symbol	Rated Value	Unit
Optical output power	P _O	35	mW
Pulse optical output power	P _{O(pulse)}	50 *	mW
LD reverse voltage	V _{R(LD)}	2	V
PD reverse voltage	V _{R(PD)}	30	V
Operating temperature	Topr	−10 to +60	°C
Storage temperature	Tstg	−40 to +85	°C

Note: Pulse condition : Pulse width = 100 ns , duty = 50%

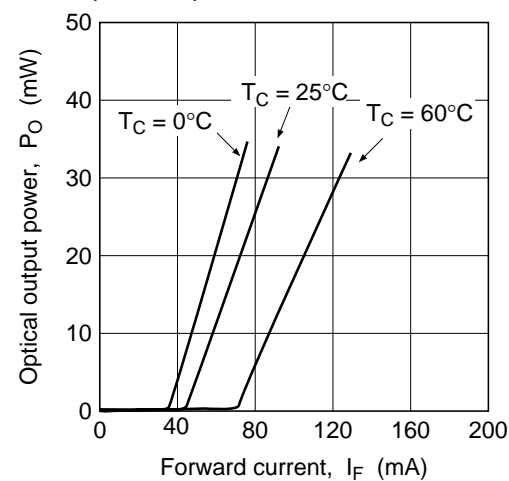
Optical and Electrical Characteristics (T_C = 25°C)

Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test Conditions
Optical output power	P _O	35	—	—	mW	Kink free *
Optical output power	P _{O(pulse)}	50	—	—	mW	Kink free *
Threshold current	I _{th}	30	45	70	mA	—
Operating voltage	V _{OP}	2.1	2.6	3.0	V	P _O = 30 mW
Slope efficiency	η _s	0.5	0.75	1.0	mW/mA	18 (mW) / (I _(24mW) − I _(6mW))
Beam divergence parallel to the junction	θ//	7	8.5	10.5	deg.	P _O = 30 mW
Beam divergence parpendicular to the junction	θ⊥	18	22	26	deg.	P _O = 30 mW
Astigmatism	A _s	—	6	—	μm	P _O = 5 mW, NA = 0.55
Lasing wavelength	λ _p	645	658	665	nm	P _O = 30 mW
Monitor current	I _s	0.05	0.3	1.5	mA	P _O = 30 mW, V _{R(PD)} = 5 V

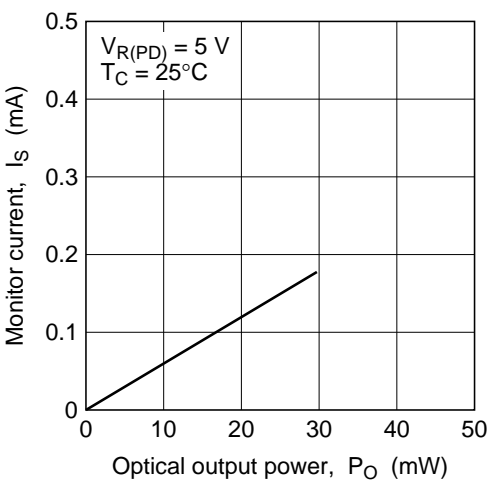
Note: Kink free is confirmed at the temperature of 25°C.

Typical Characteristic Curves

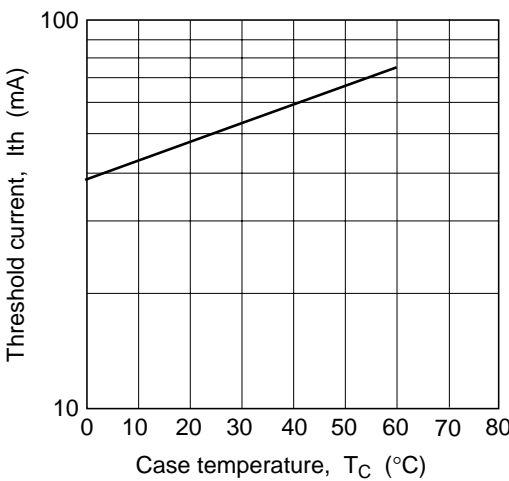
Optical Output Power vs. Forward Current



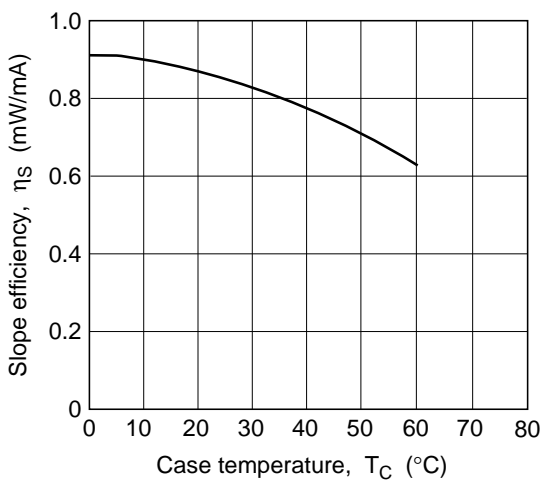
Monitor Current vs. Optical Output Power



Threshold Current vs. Case Temperature

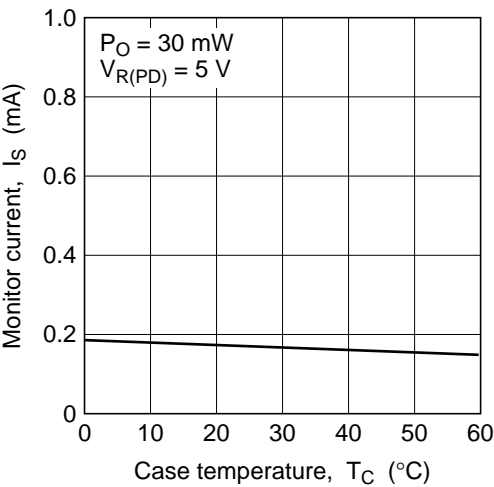


Slope Efficiency vs. Case Temperature

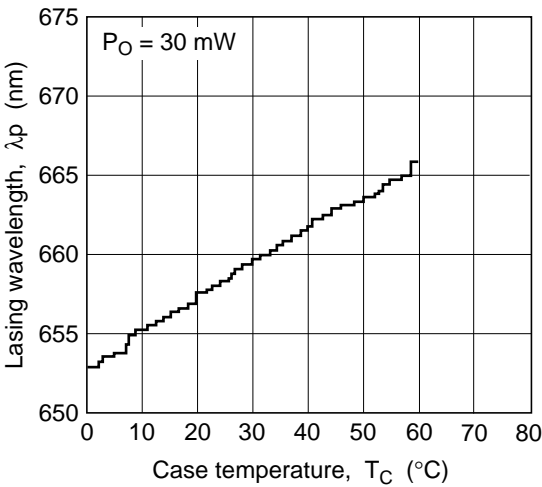


Typical Characteristic Curves (cont)

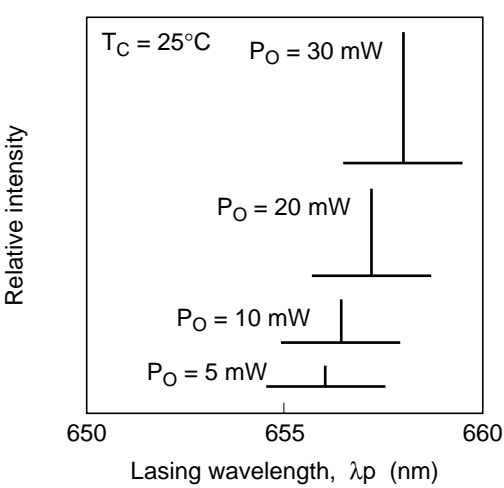
Monitor Current vs. Case Temperature



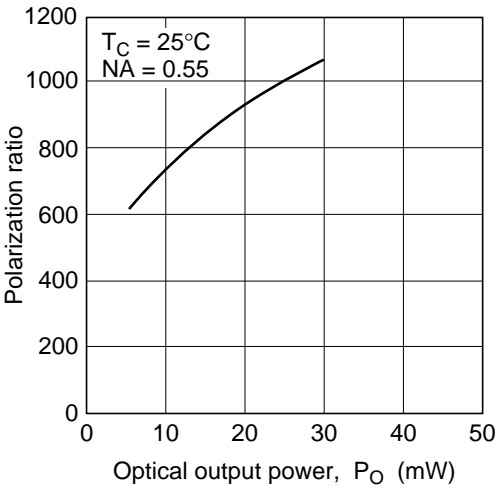
Lasing Wavelength vs. Case Temperature



Lasing Spectrum

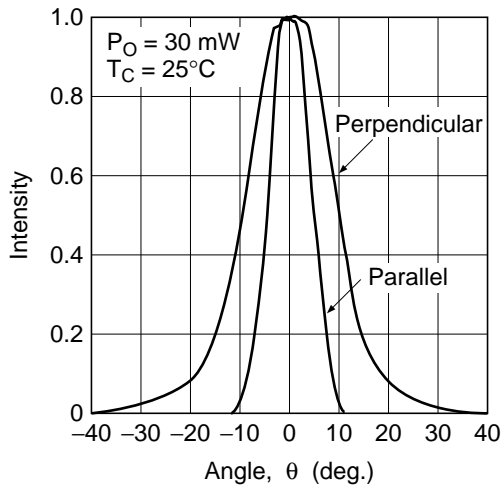


Polarization Ratio vs. Optical Output Power

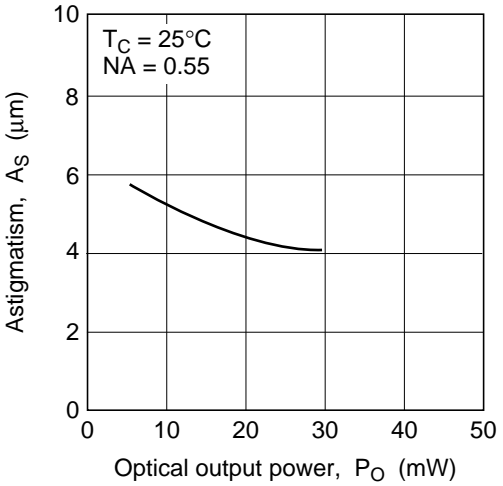


Typical Characteristic Curves (cont)

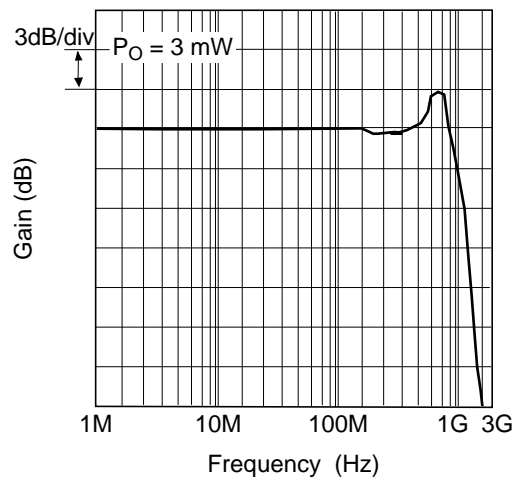
Far Field Pattern



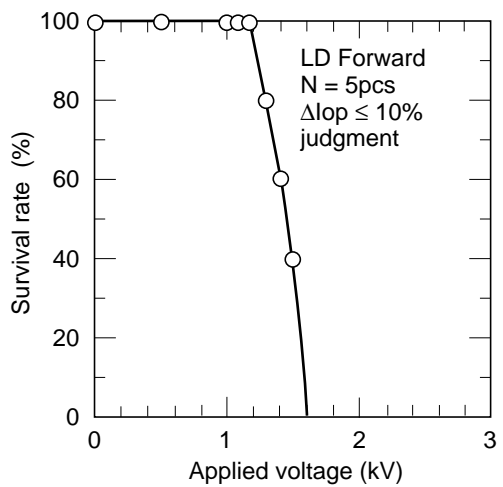
Astigmatism vs. Optical Output Power



Frequency Response

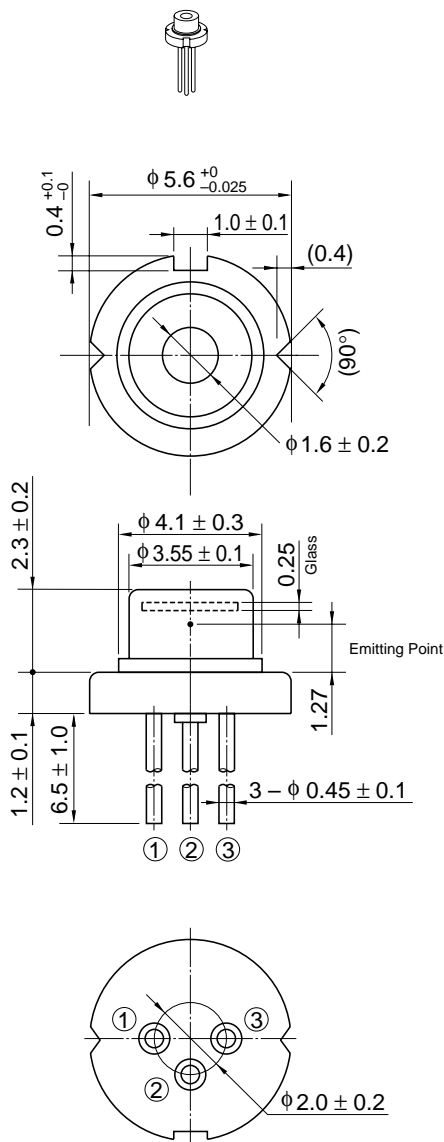


Electrostatic Destruction(MIL standard)



Package Dimensions

Unit: mm



Hitachi Code	LD/MG
JEDEC	—
EIAJ	—
Mass (reference value)	0.3 g

Cautions

1. Hitachi neither warrants nor grants licenses of any rights of Hitachi's or any third party's patent, copyright, trademark, or other intellectual property rights for information contained in this document. Hitachi bears no responsibility for problems that may arise with third party's rights, including intellectual property rights, in connection with use of the information contained in this document.
 2. Products and product specifications may be subject to change without notice. Confirm that you have received the latest product standards or specifications before final design, purchase or use.
 3. Hitachi makes every attempt to ensure that its products are of high quality and reliability. However, contact Hitachi's sales office before using the product in an application that demands especially high quality and reliability or where its failure or malfunction may directly threaten human life or cause risk of bodily injury, such as aerospace, aeronautics, nuclear power, combustion control, transportation, traffic, safety equipment or medical equipment for life support.
 4. Design your application so that the product is used within the ranges guaranteed by Hitachi particularly for maximum rating, operating supply voltage range, heat radiation characteristics, installation conditions and other characteristics. Hitachi bears no responsibility for failure or damage when used beyond the guaranteed ranges. Even within the guaranteed ranges, consider normally foreseeable failure rates or failure modes in semiconductor devices and employ systemic measures such as fail-safes, so that the equipment incorporating Hitachi product does not cause bodily injury, fire or other consequential damage due to operation of the Hitachi product.
 5. This product is not designed to be radiation resistant.
 6. No one is permitted to reproduce or duplicate, in any form, the whole or part of this document without written approval from Hitachi.
 7. Contact Hitachi's sales office for any questions regarding this document or Hitachi semiconductor products.
-
1. The laser light is harmful to human body especially to eye no matter what directly or indirectly. The laser beam shall be observed or adjusted through infrared camera or equivalent.

HITACHI

Hitachi, Ltd.

Semiconductor & Integrated Circuits.
Nippon Bldg., 2-6-2, Ohte-machi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0004, Japan
Tel: Tokyo (03) 3270-2111 Fax: (03) 3270-5109

URL NorthAmerica : <http://semiconductor.hitachi.com/>
 Europe : <http://www.hitachi-eu.com/hel/ecg>
 Asia : <http://sicapac.hitachi-asia.com>
 Japan : <http://www.hitachi.co.jp/Sicd/indx.htm>

For further information write to:

Hitachi Semiconductor (America) Inc. 179 East Tasman Drive, San Jose, CA 95134 Tel: <1> (408) 433-1990 Fax: <1> (408) 433-0223	Hitachi Europe GmbH Electronic Components Group Dornacher StraÙe 3 D-85622 Feldkirchen, Munich Germany Tel: <49> (89) 9 9180-0 Fax: <49> (89) 9 29 30 00	Hitachi Asia Ltd. Hitachi Tower 16 Collyer Quay #20-00, Singapore 049318 Tel : <65>-538-6533/538-8577 Fax : <65>-538-6933/538-3877 URL : http://www.hitachi.com.sg	Hitachi Asia (Hong Kong) Ltd. Group III (Electronic Components) 7/F., North Tower, World Finance Centre, Harbour City, Canton Road Tsim Sha Tsui, Kowloon, Hong Kong Tel : <852>-(2)-735-9218 Fax : <852>-(2)-730-0281 URL : http://www.hitachi.com.hk
	Hitachi Europe Ltd. Electronic Components Group. Whitebrook Park Lower Cookham Road Maidenhead Berkshire SL6 8YA, United Kingdom Tel: <44> (1628) 585000 Fax: <44> (1628) 585160	Hitachi Asia Ltd. (Taipei Branch Office) 4/F, No. 167, Tun Hwa North Road, Hung-Kuo Building, Taipei (105), Taiwan Tel : <886>-(2)-2718-3666 Fax : <886>-(2)-2718-8180 Telex : 23222 HAS-TP URL : http://www.hitachi.com.tw	

Copyright © Hitachi, Ltd., 2000. All rights reserved. Printed in Japan.
Colophon 2.0

Anexo D.

Caracterización del láser DPSS de 10mW

Páginas adjuntadas: 2



El ‘*caso especial*’ de operación del circuito de control, surge cuando el diodo láser que se pretende controlar no presenta fotodiodo monitor interno para cerrar el lazo de realimentación.

Para esta situación, se emplea un láser ‘DPSS’ cuyas hojas de características no son conocidas. A parte de no disponer de fotodiodo monitor, se caracteriza por emitir un haz cuya longitud de onda (λ) se encuentra en los 532nm, y se sabe por medios experimentales que la emisión estimulada comienza alrededor de los 150mA (I_{th}).

Es preciso por tanto, realizar una caracterización del mismo, con el fin de conocer tanto su respuesta aproximada, como sus límites de operación. Se utiliza para llevar a cabo la caracterización un circuito sencillo como el mostrado en la Figura D-1

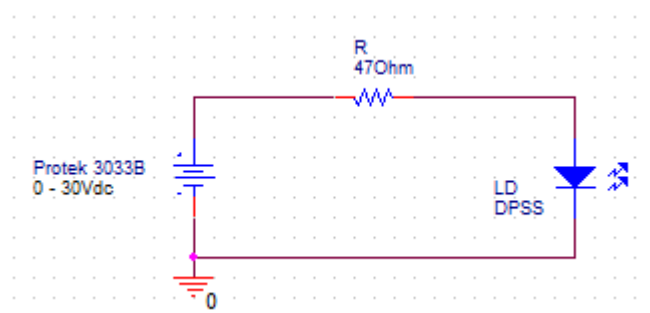


Figura D-1: Circuito utilizado para la caracterización del láser DPSS.

La resistencia se dimensiona teniendo en cuenta el consumo de corriente aproximado del diodo láser utilizado. Este láser en concreto emite de forma amplificada a partir de los 150mA, por tanto si se quiere realizar un barrido de corriente para obtener su comportamiento, se debe colocar un valor de resistencia de modo que la tensión de alimentación a aplicar quede dentro del rango de la fuente (*en este caso Protek 3033B 0-30V, 0-1,5A*).

$$V_{fuente} = V_{AK_DPSS} + I_{th} \cdot R = V_{AK_DPSS} + (150mA \cdot 47\Omega) = V_{AK_DPSS} + 7,05V$$

Este nivel de corriente, se encuentra aproximadamente a la mitad del rango de corriente que es capaz de soportar el láser ‘DPSS’. De este modo, con la resistencia ‘R’ no solo se consigue que el láser no demande toda la corriente que puede suministrar la fuente, sino que también se establece el rango de alimentación del circuito de 0-15V.

Una vez queda implementado el circuito de alimentación, se orienta el haz emitido hacia un medidor de potencia óptica (*modelo ‘Newport 815 series’*) para obtener el segundo parámetro necesario, que relacionado con el consumo de corriente del diodo, dan lugar a su curva de comportamiento (*Potencia óptica [P_{op}] vs. Corriente directa [I_F]*).

Las medidas experimentales tomadas se representan en la Figura D-2:

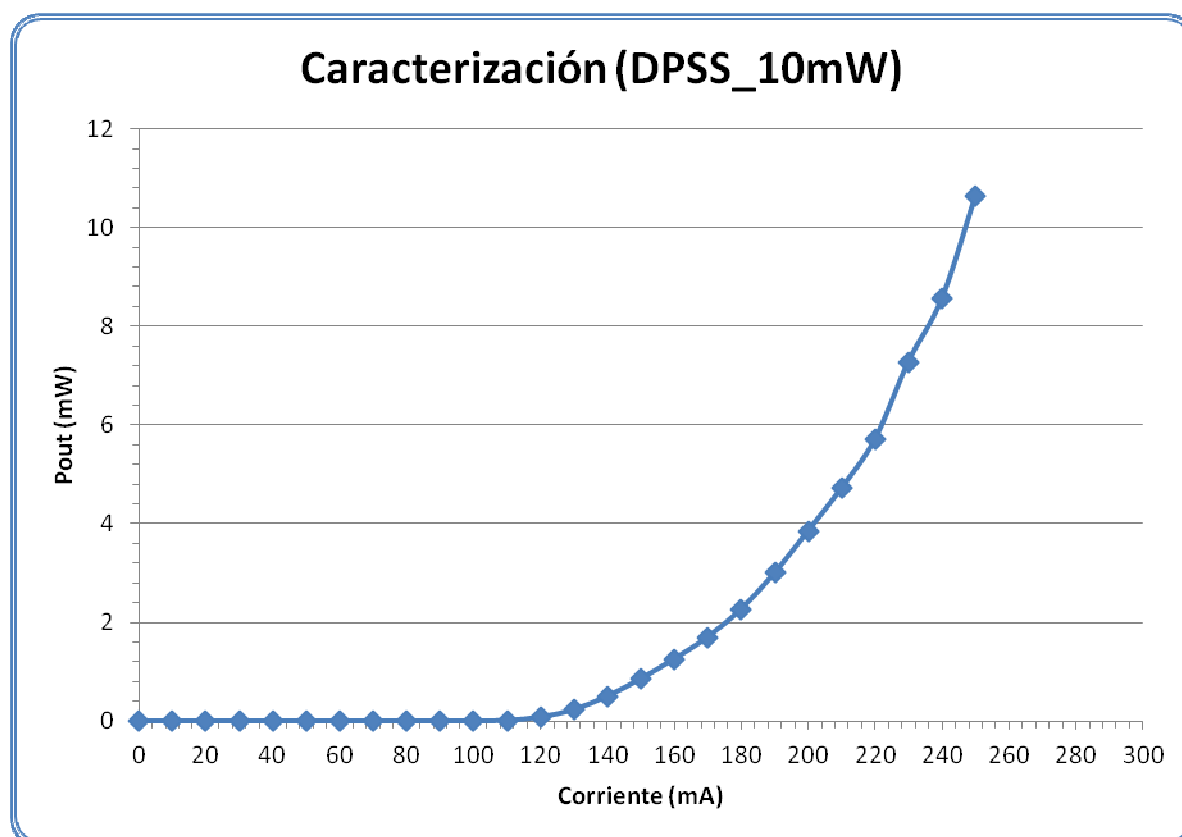


Figura D-2: Curva característica del láser DPSS [Potencia óptica vs. Corriente directa].

Los resultados obtenidos muestran el comportamiento típico de un diodo láser, donde a partir de la corriente umbral (I_{th}), el consumo de corriente crece de un modo aproximadamente lineal hasta alcanzar su nivel máximo de operación. Hay que tener cierta precaución de no sobrepasar en exceso este nivel, para no dañarlo funcionalmente. Según muestra la gráfica anterior, el rango máximo de emisión se sitúa en los **10mW** para unos **250mA**.

Esta modalidad de láser manifiesta una serie de propiedades que los diferencia de los diodos láser convencionales. Internamente, está formado por un diodo láser 'IR' normal ($1064nm$) de bombeo que ilumina un cristal no lineal. Este hecho, aparte de provocar una desviación respecto al comportamiento lineal típico de estos dispositivos, hace que presente un elevado tiempo de respuesta. Este retardo, favorece la aparición de incompatibilidades (*oscilaciones*) cuando se alimenta por medio del circuito de control.

Durante este proyecto, el diodo 'DPSS' se emplea fundamentalmente en las pruebas de estabilidad y en la aplicación práctica interferométrica, ya que emite un haz más coherente que cualquiera de los diodos láser disponibles en el laboratorio.

Anexo E.

SFH250V Photodiode Datasheet *(Hojas de Características)*

Páginas adjuntadas: 4



SFH250 and SFH250V

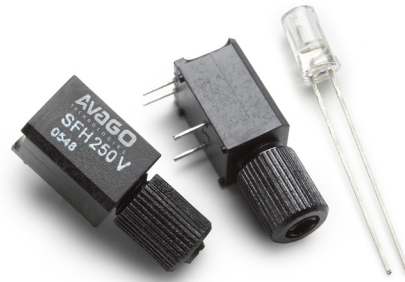
Receiver with analog output for polymer optical fiber applications



Data Sheet



Lead (Pb) Free
RoHS 6 fully
compliant



Description

The SFH250 is a low-cost 650nm receiver for optical data transmission with polymer optical fiber. This Si-pin-photodiode works fine with the AVAGO transmitter SFH757. According to the intensity of the incident light the SFH250 generates an analog photocurrent. In typical applications the SFH250 is operated in reverse-biasing and is installed in series with a resistor, where the voltage tapping is taken. By increasing the reverse voltage the switching times decrease and the SFH250 can be used for transmission speeds up to 100MBd.

Components of the SFH series are optimized for easy coupling. No fiber stripping is required, only the cut fiber has to be inserted into the selected SFH component.

SFH250

The transparent plastic package has an aperture where a 2.2mm fiber end can be inserted. This very easy coupling method is extremely cost-effective.

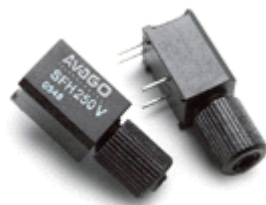
SFH250V

The V-housing allows easy coupling of unconnectorized 2.2mm polymer optical fiber by means of an axial locking screw.

Ordering Information



SFH250



SFH250V

Type	Ordering Code
SFH250	SP000063866
SFH250V	SP000063852

Features

- Fast Switching Time
- Sensitive in visible and near IR Range
- High linearity
- 2.2mm aperture holds standard 980/1000/2200 um plastic fiber
- No fiber stripping required
- Molded microlens for efficient coupling

Plastic Direct Fiber Connector housing (V-housing)

- Locking screw attached to the connector
- Interference-free transmission by the light-tight housing
- Transmitter and receiver can be positioned flexibly
- No cross talk
- Auto insertable and wave solderable
- Supplied in tubes

Applications

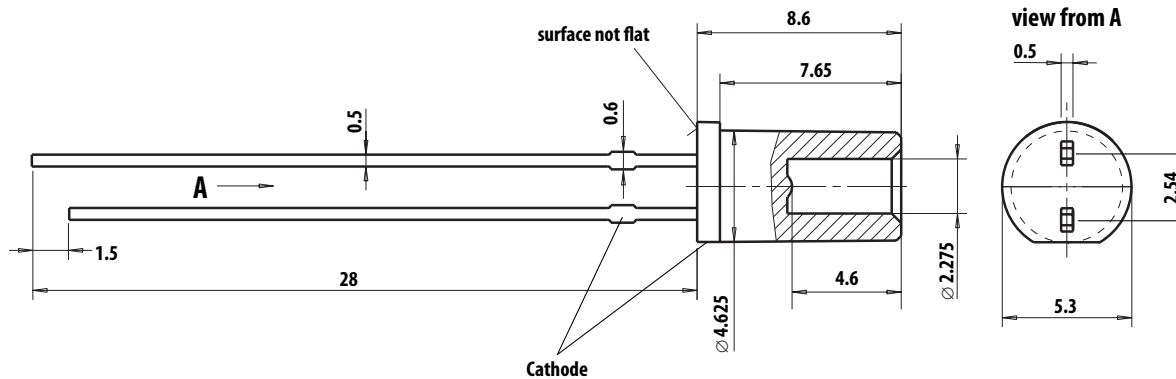
- Household electronics
- Power electronics
- Optical networks
- Light barriers

Application Literature

AN #	Description
5342	General information about the SFH series with Selection Guide and recommendations regarding System Planning and Mounting
5341	Information about Basic and Special Circuits for Transmitter and Receiver of the SFH series

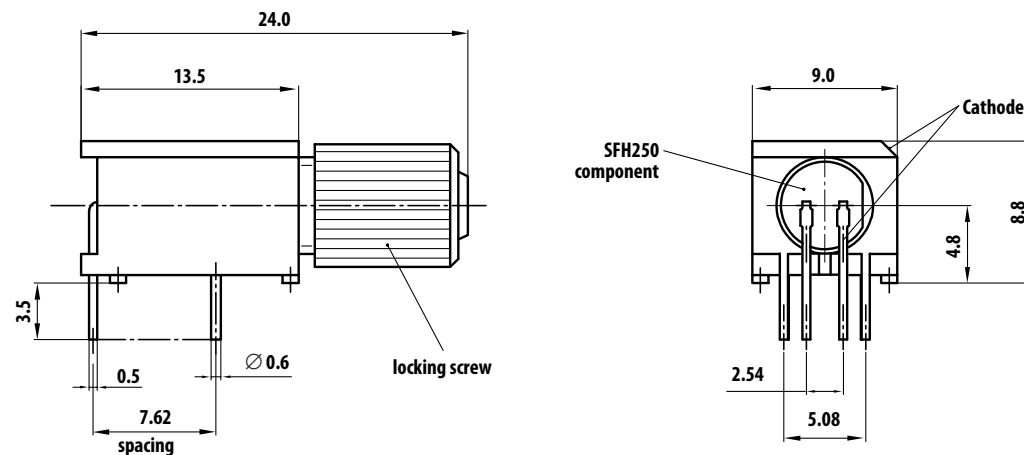
Package Dimensions

SFH250



Dimensions in mm

SFH250V



Dimensions in mm

Package V-housing Color

SFH V-series components are color coded just like other Avago fiber optic components. The SFH757V transmitter has a white colored housing; the SFH250V and SFH551/1-1V receiver components have a black colored housing. This prevents mistakes while making connections. Product designation and date of manufacture are printed on the housing.

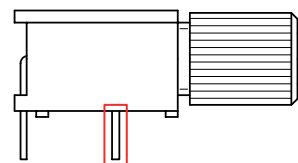
Package V-housing mounting pins

SFH V-series components have two pins that are electrically isolated from the inner circuit. The pins are only designed for mounting the V-housing to the PCB surface. This helps increase stability, which is needed during fixing the fiber end by the axial locking screw.

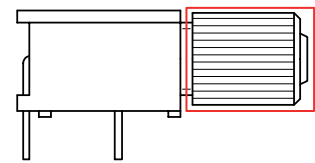
The retention force between the soldered mounting pins and the V-housing of the SFH component is about 20 N (with a vertical exertion of force). This is an approximate value.

Package V-housing axial locking screw

Components of the SFH V-series are equipped with an axial locking screw for easy coupling to the unconnectorized 2.2 mm polymer optical fiber. The force that is necessary to pull a jammed fiber out of the V-housing is typically 50 N (with a torque of 15 cNm for tightening the locking screw). This is an approximate value that is very dependent on the fiber and torque combination.



Package V-housing mounting pins



Package V-housing axial locking screw

Technical Data

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Notes	Figure
Operating Temperature range	T _C	-40		+85	°C		
Storage Temperature range	T _{stg}	-40		+100	°C		
Junction Temperature	T _J			100	°C		
Soldering Temperature (2mm from case bottom, t≤5s)	T _S			+260	°C		
Reverse Voltage	V _R			30	V		
Power Dissipation	P _{tot}			100	mW		
Thermal Resistance (Junction/Air)	R _{thJA}			750	K/W		
Electrostatic Discharge Voltage Capability	ESD			2000	V	1	
Electrostatic Discharge Voltage Capability	ESD			400	V	2	

Notes:

1. ESD Capability for all Pins HBM(Human Body Model) according JESD22-A114
2. ESD Capability for all Pins MM (Machine Model) according JESD22-A115

Characteristics (T_A = -40°C to +85°C) unless otherwise specified

Parameter	Symbol	Min	Typ*	Max	Unit	Notes	Figure
Maximum Photosensitivity Wavelength	λ _{smax}		850		nm		1
Photosensitivity Spectral Range (S=80%S _{max})	λ _S	400		1100	nm		1
Dark Current (R _L =50Ω, V _R =5V, T _A =25°C)	I _R		1	10	nA	2	5
Capacitance (f=1MHz, V _R =0)	C _S		11		pF		5
Switching Times (R _L =50Ω, V _R =5.0V, λ=650nm)							
T _{rise} (10%...90%)	t _r		5	12	ns	1,2	6, 4
T _{fall} (90%.. 10%)	t _f		8	16	ns		
Switching Times (R _L =50Ω, V _R =30.0V, λ=650nm)							
T _{rise} (10%...90%)	t _r		3	10	ns	1,2	6, 4
T _{fall} (90%.. 10%)	t _f		4	10	ns		
Photocurrent (R _L =50Ω, P _{opt} =10uW, V _R =5.0V, λ=650nm)	I _p	2.4	4.4		μA		2,3
Responsivity (λ=650nm, R _L =50Ω)	R _{IP}	240	440		μA / mW	3	3
Photocurrent Temperature Coefficient (λ=650nm)	T _{IP}		-0.03		% / K		2

*Typical value = mean value at T_A=25°C

Note:

1. Measured with optical input power -4dBm(mean) and pattern: "1010" at 5MBd
2. Increase with temperature
3. Not strictly linear behavior. Actual value at high optical input power could vary from the typical value.

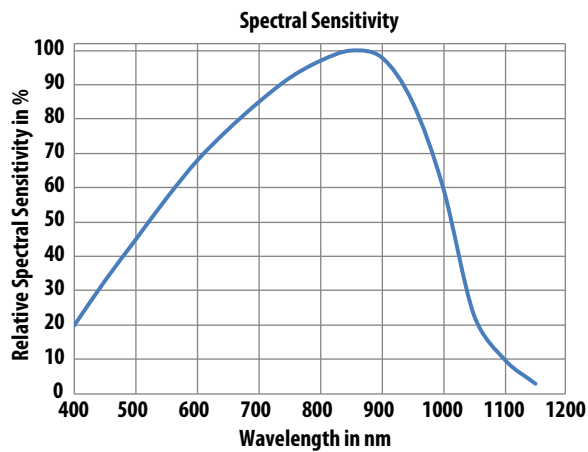


Figure 1. Typical Spectral Sensitivity

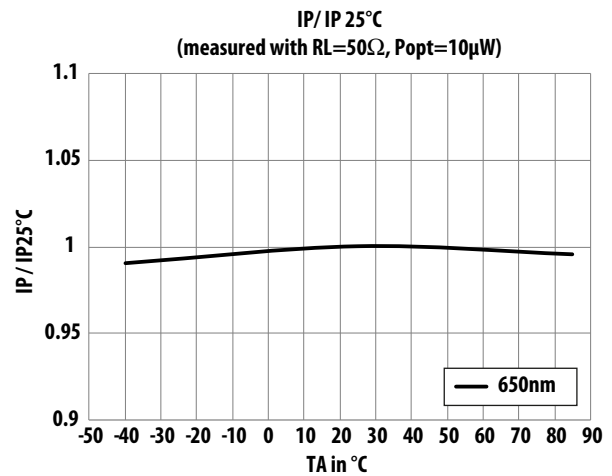


Figure 2. Typical Photocurrent depending on temperature

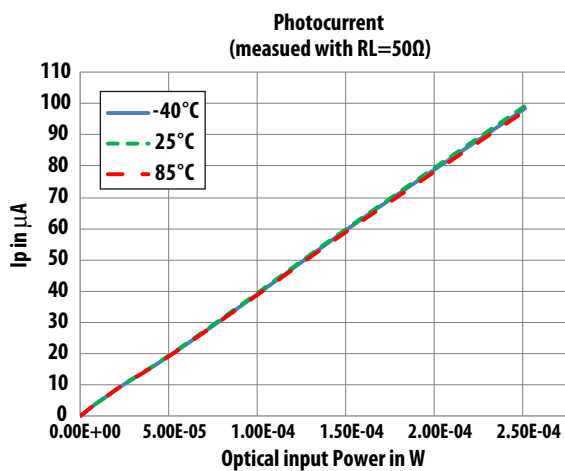


Figure 3. Typical Photocurrent at constant "Light ON"

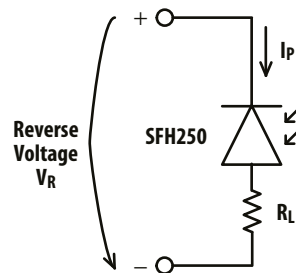


Figure 4. Test circuit

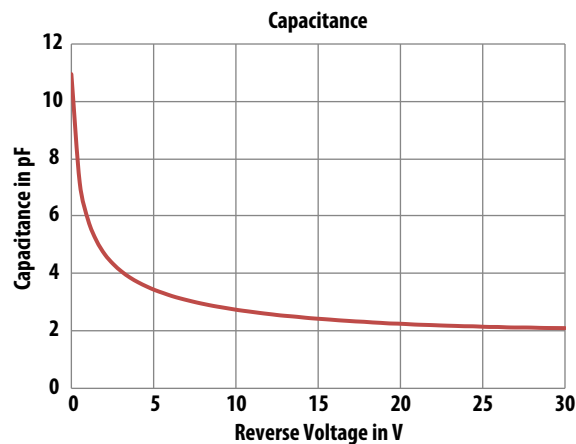


Figure 5. Typical Capacitance; measured at TA=25°C with fmeasured =1MHz

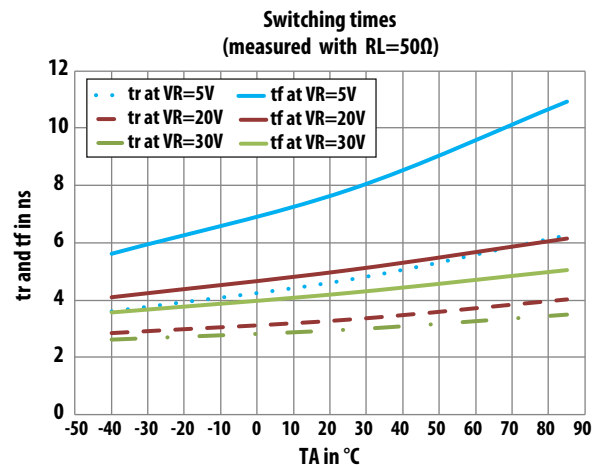


Figure 6. Typical Switching times; measured with pattern "1010" (5Mb/s) at -4dBm (mean) optical input power

For product information and a complete list of distributors, please go to our web site: www.avagotech.com

Avago, Avago Technologies, and the A logo are trademarks of Avago Technologies in the United States and other countries. Data subject to change. Copyright © 2005-2011 Avago Technologies. All rights reserved. Obsoletes AV01-0711EN AV02-3095EN - October 25, 2011

Avago
TECHNOLOGIES